



Tielaitos

Lentotuhkafilleri SMA-päällysteessä

Työskentely- ja ympäristövaikutukset



Tielaitoksen
selvityksiä

23/2000

Helsinki 2000

TIEHALLINTO
Tie- ja
liikennetekniikka

Tielaitoksen selvityksiä
23/2000

Lentotuhkafilleri SMA-päällysteessä

Työskentely- ja ympäristövaikutukset

Tielaitos
TIEHALLINTO

Helsinki 2000

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-651-0
TIEL 3200611

Oy Edita Ab
Helsinki 2000

Julkaisua myy
Tielaitos, julkaisumyynti
Faksi 0204 44 2652
S-posti julkaisumyynti@tielaitos.fi
www.tielaitos.fi/julk2.htm



Tielaitos
TIEHALLINTO
Tie- ja liikennetekniikka
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 44 150

TIIVISTELMÄ

Projektissa selvitettiin tienpäällystäjien altistumista valmistettaessa ja levitettäessä kivihiilen lentotuhkaa sisältävää SMA-asfalttia Tielaitoksen kohteissa kesällä 1999. Projekti liittyy Suomen Akatemian Ympäristötyöterveyden tutkimusohjelmaan (SYTTY) 1998 - 2001. SMA-asfaltti suhteutettiin ja tutkittiin ennen kohteiden rakentamista laboratoriossa. Laboratoriossa tehtiin lisäksi asfalttiporapalan diffuusiotesti ympäristövaikutusten selvittämiseksi. Työolosuhdemittaukset tehtiin asfalttiasemalla ja asfaltin levityksessä eri koetiekohteissa.

Diffuusiotestin arviointikriteerien perusteella kivihiilituhkaa sisältävä kompaktoitu SMA-asfaltti oli ympäristöllisesti riskitön. Kenttäkokeissa ilman epäpuhtauksien pitoisuudet lentotuhka-SMA:lla olivat samaa tasoa kuin levitettäessä kalkkifilleriä sisältävää SMA-asfalttia. Kokonaispölypitoisuuksien aritmeettiset keskiarvot olivat kalkki-SMA:n levityksessä $1,8 \text{ mg/m}^3$ ja lentotuhka-SMA:lle $1,9 \text{ mg/m}^3$. Bitumihuurupitoisuuksien vastaavat keskiarvot olivat $1,2 \text{ mg/m}^3$ kalkki-SMA:lle ja $1,0 \text{ mg/m}^3$ lentotuhka-SMA:lla. Kesäkuussa 1999 suorituissa mittauksissa bitumihuurupitoisuudet olivat asfaltin levittimen päällä korkeita, yli 5 mg/m^3 levitettäessä sekä lentotuhkaa että kalkkifilleriä sisältävää asfalttia. Syksyn 1999 kenttäkokeissa mitatut bitumihuurupitoisuudet olivat alle $0,5 \text{ mg/m}^3$. Haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP) orgaaniselle pölylle on Suomessa 5 mg/m^3 , USA:ssa ACGIH:n uusi raja-arvo bitumihuurulle on $0,5 \text{ mg/m}^3$.

Bitumihöyrypitoisuuksien keskiarvot olivat kalkki-SMA:n levityksessä $5,6 \text{ mg/m}^3$ ja lentotuhka-SMA:n levityksessä $4,9 \text{ mg/m}^3$. Polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuudet olivat myös hieman suuremmat kalkki-SMA:n levityksessä ($11,6 \mu\text{g/m}^3$) kuin lentotuhka-SMA:n ($5,6 \mu\text{g/m}^3$) levityksessä. Pääosa PAH-yhdisteistä oli kaksi- ja kolmirenkaisia yhdisteitä kuten naftaleenia ja fenantreenia. Autonkuljettajan, joka lastaa ja purkaa lentotuhkakuorman asfalttiasemalla, hengitysvyöhykkeeltä työvuoron aikana mitattu kokonaispölypitoisuus oli $1,9 \text{ mg/m}^3$. HTP-arvo kokonaispölylle on Suomessa 10 mg/m^3 .

Lentotuhkan käyttö SMA:ssa kalkkifillerin korvikkeena ei vaikuttanut mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin. Levityslämpötilan ja vaihtelevien sääolosuhteiden vaikutus oli sen sijaan merkittävä, ja nämä tekijät selittävät suuret pitoisuuserot kesän ja syksyn mittauksen välillä. Käytettäessä korkeita levityslämpötiloja ja sään ollessa tyyni on mahdollista, että päästöt levittimen päällä kohoavat yli HTP-arvon.

Virpi Väänänen, Pirjo Heikkilä, Petri Pelttonen, Mervi Hämeillä. Lentotuhkafilleri SMA päällysteessä. Työskentely ja ympäristövaikutukset. [Coal fly ash in stone mastic asphalt. Influence on working conditions and environmental impacts]

Key words Stone mastic asphalt, coal fly ash, filler

ABSTRACT

Waste utilisation in asphalt is under continuous study in Europe. Recycling of the industrial wastes in asphalt mixtures should not create new occupational and environmental hazards. The aim of this work was to evaluate the inhalatory and dermal exposure of the asphalt workers and the leaching of the impurities into the environment when coal fly ash is used in stone mastic asphalt (SMA). The research belongs to the national Finnish Research Programme on Environmental Health (SYTTY) organised by the Academy of Finland in 1998 - 2001.

SMA asphalt mixtures were mix-designed and studied in the laboratory. The environmental leaching of the coal fly ash impurities from the asphalt core sample into water were measured by the Dutch diffusion test. The evaluation criteria of the diffusion test showed the SMA asphalt to be environmentally acceptable. Occupational exposures at laying of SMA containing coal fly ash and lime stone as a filler were measured in the four field tests in 1999. Two field surveys were carried out in the summer time, and the other two in the autumn. The evaluation of the workplace exposure included the collection of personal breathing zone samples and area samples in the asphalt station and during laying the SMA. All the particles were sampled on teflon filters and vapors on XAD-2 polymer. Total particulates were measured gravimetrically, bitumen fumes by FTIR, bitumen vapors by HRGC/MS and particulate and vaporous PAH compounds by HPLC/FLD. The contamination of the skin with PAH compounds was measured by washing the hands with sunflower oil and by wiping hands with kleenex tissues. The samples were analyzed by HPLC/FLD.

The mean arithmetic concentrations of the particulates and bitumen fumes were $1,9 \text{ mg/m}^3$ with the conventional lime filler SMA and $1,8 \text{ mg/m}^3$ when laying the SMA containing coal fly ash. Bitumen fume concentrations with lime SMA were $1,0 \text{ mg/m}^3$ and with coal fly ash SMA $1,2 \text{ mg/m}^3$ respectively. The mean concentrations of the bitumen vapors were $4,9 \text{ mg/m}^3$ and $5,6 \text{ mg/m}^3$ at laying the SMA containing fly ash and lime filler respectively. The occupational exposure limit value for the organic dust is 5 mg/m^3 in Finland. The concentration of the bitumen fumes exceeded this value on the paving machine when laying the SMA in the summer. In the autumn surveys the concentrations of the bitumen fumes and vapors were, however, 10 times lower than in the summer survey. The mean concentrations of the PAH compounds were $5,6 \mu\text{g/m}^3$ for the SMA containing coal fly ash and $11,6 \mu\text{g/m}^3$ for the conventional SMA. Total dust concentration in the breathing zone of the person driving the coal fly ash lorry during one working day was low, $1,9 \text{ mg/m}^3$.

In this survey, the use of coal fly ash in SMA did not increased the concentration of the air impurities at workers' breathing zone when laying coal fly ash SMA compared to the conventional lime stone SMA. The results showed that the laying temperature and weather conditions can influence on the concentrations of bitumen fumes even more than coal fly ash used in the SMA.

ALKUSANAT

Lentotuhkaa muodostuu kivihiilivoimaloissa kivihiilen poltossa. Syntyvästä lentotuhkasta noin 70 - 80 % on pystytty käyttämään hyödyksi. Lentotuhkaa sekoitetaan mm. asfaltin täytejauheeksi.

Suomen Akatemian Ympäristötyöterveysohjelman (SYTTY) osana VTT:n Yhdyskuntatekniikka ja Työterveyslaitos (TTL) tutkivat asfaltissa käytettävien kierrätysaineiden vaikutusta työilman laatuun ja ympäristöön. Yhdeksi tutkittavaksi aineeksi on valittu lentotuhka. Tässä julkaisussa esitetään tuloksia työntekijöiden altistumisesta levitettäessä kalkkifillieriä ja lentotuhkaa sisältäviä SMA-massoja. Tutkimukseen ovat osallistuneet myös omalla panoksellaan Työsuojelurahasto, Tielaitos ja tuhkantuottajat sekä koeteiden rakentamisessa Asfaltti Tekra Oy ja Valtatie Oy.

Tutkimuksen asiantuntijaryhmään ovat kuuluneet:

- Asko Saarela VTT Yhdyskuntatekniikka, puheenjohtaja
- Mats Lindholm Fortum Power and Heat Oy
- Jorma Havukainen ja Lea Lemmetti Helsingin Energia
- Ahti Rinnasto PVO-Lämpövoima Oy
- Matti Pessi Oy Finn-Ash Power Ltd.
- Mats Reihe Tielaitos Hallinto
- Jorma Paananen Tielaitos Tuotanto
- Pentti Kalliokoski ja Jukka-Pekka Kasanen Kuopion yliopisto
- Pirjo Heikkilä, Virpi Väänänen, Mervi Hämeilä ja Kimmo Peltonen Työterveyslaitos
- Petri Peltonen VTT Yhdyskuntatekniikka, sihteeri

Virpi Väänänen, Pirjo Heikkilä ja Mervi Hämeilä TTL:sta ovat kirjoittaneet julkaisun työolosuhdemittauksia koskevat osiot. VTT:n osuuden on kirjoittanut Petri Peltonen. Asiantuntijaryhmä on kommentoinut julkaisun ennen sen julkaisemista.

Helsingissä syyskuussa 2000

Tielaitos

Tie- ja liikennetekniikka

Sisältö

1	JOHDANTO	7
2	LENTOTUHKAN JA KALKKIFILLERIN RAKENNE SEKÄ NORMIOMINAISSUUDET	8
2.1	Lentotuhkan ominaisuudet	8
2.1.1	Lentotuhkan kemiallinen koostumus	10
2.1.2	Lentotuhka-asfaltin ympäristökelpoisuus diffuusioteetissä	11
2.2	Lentotuhkan käsittelyn vaiheet	12
2.2.1	Käsittely lentotuhkan varastolla ja asfalttiasemalla	12
2.2.2	Asfaltin levityksen olosuhteet	15
2.3	Kaivoksen lentotuhkakoetie 1999	16
2.3.1	Koeosuudet	16
2.3.2	Koeosuuksien SMA-massan laboratoriosuhteitus ja toiminnalliset ominaisuudet	17
2.4	Muut vertailumittauskohteet ja niiden materiaalit	18
2.4.1	Vertailukoetie Vt 4	19
2.4.2	Vertailukoetie Vt 6	19
3	TYÖOLOSUHDETUTKIMUKSET	20
3.1	Tutkimuskohteen määrittely	20
3.2	Tutkimusmenetelmät	20
3.2.1	Mittauskohteet ja olosuhteet mittauksen aikana	20
3.2.2	Näytteenkeräys- ja mittausmenetelmät	20
3.2.3	Työolosuhdekysely	22
3.2.4	Työhygieeniset vertailuarvot	22
3.3	Tulokset	23
3.3.1	Asfalttiasema	23
3.3.2	Tienpäällystys	24
3.3.2.1	Kokonaispöly-, bitumihuuru- ja bitumihöyrypitoisuudet	24
3.3.2.2	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt ilmassa ja iholla	25
3.3.3	Työolosuhdekysely	26
3.4	Työolosuhdetutkimukset	26
4	YHTEENVETO	30
5	JATKOSUOSITUKSET	31
6	VIITTEET	32
7	LIITTEET	34

1 JOHDANTO

Viime vuosina Suomessa käytetty kivihiili on tuotu lähinnä Puolasta. Tätä kivihiiltä, on poltettu mm. Fortum Power and Heat Oy:n Naantalin voimalaitoksella. Kivihiiltä hankitaan maailmanlaajuisesti kuitenkin myös Venäjältä, USA:sta, Englannista, Etelä-Afrikasta ja Australiasta. Suomessa energian tuotantoon käytettävän kivihiilen kokonaismäärä on noin 3 - 4 milj. tonnia. Naantalin voimalaitos polttaa kivihiiltä vuosittain noin 0, 55 milj. tonnia, josta lentotuhkaa muodostuu noin 0,07 milj. tonnia. Kivihiilen tarkempi tuontitilasto 1999, liite 1. Tässä tutkimuksessa on käytetty Naantalin voimalaitoksen tuhkkaa.

Muodostuvasta lentotuhkasta (Naantalin tuhka) hyötykäyttää yli 90 % betoniteollisuus, laastiteollisuus lattia- ja seinätasotteissa sekä tienpäällystys asfaltin fillerinä. Ylijäämä lentotuhkasta läjitetään ympäristökelteisesti.

Tutkimus kuuluu osana Suomen Akatemian rahoittamaan Ympäristötyöterveyden tutkimusohjelmaan SYTTY, joka jatkuu v. 2001 asti /1/. VTT:n ja Työterveyslaitoksen johdolla hankkeessa toteutetaan projekti, jonka nimi on "Kierrätysaineiden ympäristö- ja työterveysriskit asfaltin tuotannossa".

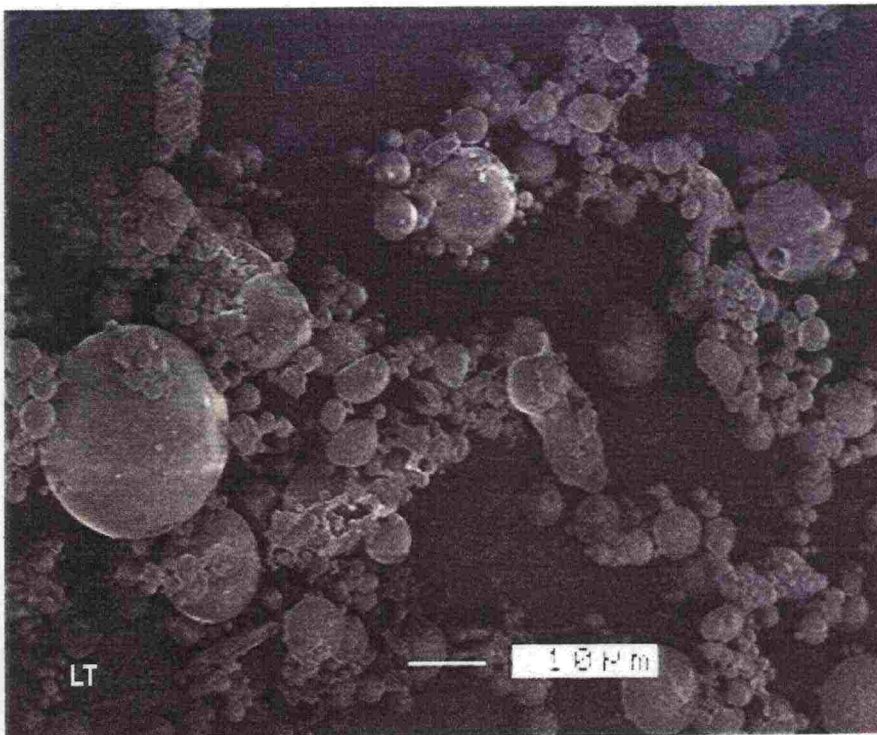
Koska lentotuhkaa muodostuu paljon ja sen käyttö asfaltin fillerinä on viime vuosina vakioitunut, haluttiin myös SYTTY-projektissa tutkia lentotuhkan asfalttikäytön työskentelyvaikutuksia perinteiseen nähden. SYTTY-hankkeessa on aikaisemmin tutkittu muovi/bitumi-seosten työskentelyvaikutuksia /2/ sekä tehty kierrätysaineita käsittelevä kirjallisuuskatsaus /3/. Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin myös jo osin näkemyksiä lentotuhkan työskentely- ja ympäristövaikutuksista. Koska muista maista kootut kirjallisuustiedot ovat erittäin harvoin suoraan verrattavissa Suomen käytäntöön, haluttiin tutkimuksella vahvistusta käytön turvallisuudesta kotimaan asfalttiteollisuuden huomioiden. Tarkoituksena tutkimuksessa oli selvittää vaikuttaako lentotuhkan käyttö työ- ja ympäristöolosuhteisiin verrattuna perinteiseen asfalttiin.

Lentotuhkan käyttöä asfaltissa on tutkimuksessa tarkasteltu työntekijöiden kannalta lisäksi kaikissa tuotanto- ja käyttövaiheissa, joihin liittyy ns. työsuojellisia аспекteja. Näiden osioiden rahoittamiseksi hankkeeseen on sitoutunut myös Työsuojelurahasto. Tutkimuksessa ovat mukana tuhkan tuottajien lisäksi Tielaitos ja päällystystyön suorittanut Uudenmaan tiepiirin Maantiekylän koneasema sekä referenssikoeteiden urakoitsijat; Asfaltti-Tekra Oy ja Valtatie Oy.

2 LENTOTUHKAN JA KALKKIFILLERIN RAKENNE SEKÄ NORMIOMINAISSUUDET

2.1 Lentotuhkan ominaisuudet

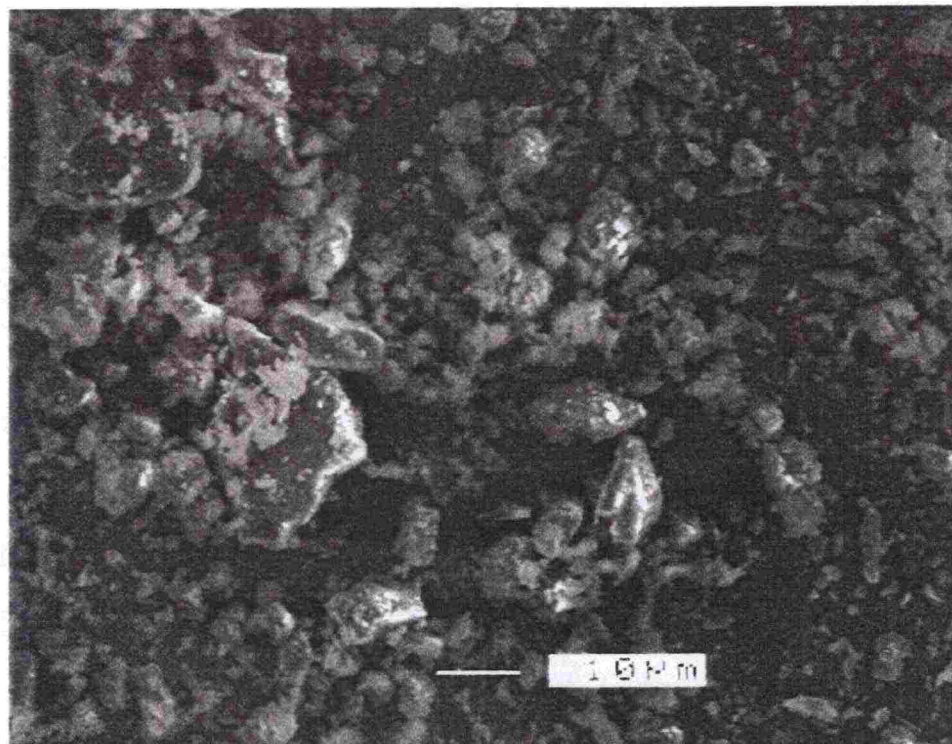
Kivihiilen polton lentotuhkarakeiden mikrorakenne on tyypillisesti säännöllisen pyöreä, kts. Scanning Electron Microscopy (SEM) *kuva 1*. Lentotuhka on tällöin myös sopivan rakeista pysyäkseen kuiva-annostuksessa riittävän irtonaisena.



Kuva 1. Fortumin Naantalin voimalan lentotuhkan rakeiden SEM-rakenne. Suurennus 1000 kertainen.

Kuva 2 esittää tavallisen kalkkikivitäytejauheen SEM-rakennetta. Kuvasta 2 voidaan päätellä, että kalkkikivitäytejauhe on raemuodoltaan epäsäännöllistä ja rakeiden reunat ovat mineraalin pehmeystä johtuen jauhatuksessa pyörityneet. Lentotuhkaan nähden tämä on selvä ero.

Raemuoto määrää täytejauheen ominaispinta-alan, jonka asfaltin valmistuksessa on täytettävä Asfalttinormien /4/ vaatimukset, jotta bitumia sitoutuisi riittävästi asfalttimassaan. Bitumin sitoutumisen määrää myös täytejauheen huokosten määrä eli ns. tyhjätila. Mikroskopiakuvasta rakeiden pintahuokokset näkyvät käytetyllä suurennuksella vielä kuitenkin huonosti. Lentotuhkan ominaispinta-ala ja tyhjätila ovat jonkin verran kalkkifilleriä suuremmat, mikä on bitumin sitoutuvuuden kannalta hyvä ominaisuus, kts. tulokset *taulukko 1*. Lentotuhkaa onkin pidetty hyvin asfalttia stabiloivana täytejauheena.



Kuva 2. Sipoon kalkkikivitäytejauheen rakeiden SEM-rakenne.

Taulukko 1. Lentotuhkan ja kalkkifillerin normiominaisuudet /4/.

Näyte	Kiintotiheys, g/cm ³	Ominaispinta- ala, m ² /g	Tyhjätila, tilav. %	Hehkutus- häviö, %
Kalkkifilleri Sipoo 7.6.1999	2,75	2,13	31,9	-
Lentotuhka Naantali 7.6.1999	2,41	1,53	38,0	3,3

Taulukon 1 arvot täyttävät Asfalttinormien täytejauhevaatimukset. Lentotuhkan puhtausastetta kontrolloiva hehkutushäviö jäi pieneksi (3,3 %) ja täytti näin myös vaatimuksen.

Rakeisuudeltaan (taulukko 2) lentotuhka täytti vaatimukset ollen jonkin verran hienompaa kuin kalkkifilleri.

Taulukko 2. Lentotuhkan ja kalkkifillerin rakeisuudet /4/.

Näyte	Läpäisy % eri aukkokoon seuloilla		
	0,063 mm	0,125 mm	0,25
Kalkkifilleri Sipoo	79,2	92,1	100,0
Lentotuhka Naantali	90,1	97,1	100,0

2.1.1 Lentotuhkan kemiallinen koostumus

Kalkkikivitäytejauhe on koostumukseltaan kalsiitti-dolomiittia eli kemiallisesti lähinnä kalsiumkarbonaattia, CaCO_3 . Lentotuhka sen sijaan sisältää kivihiilen polton jäännöksenä erilaisia ainesosia kuten palamatonta (orgaanista) hiiltä ja hiilessä esiintyviä metalli-ioneja. Koostumuksen perusteella lentotuhkaa onkin tarkasteltu eri tavoin ympäristömateriaalina kuin tavallista kalkkikivitäytejauhetta.

Lentotuhkan keskimääräinen kemiallinen koostumusvaihtelu on esitetty *taulukossa 3*, lähde: tuottajan (Fortum) antamat tiedot.

Taulukko 3. Lentotuhkan, maaperän ja saastuneen maan kemiallinen koostumus keskimäärin eri lähteissä.

Alkuaine	Kivihiilen ⁽¹⁾ lentotuhka, mg/kg	Maaperä ⁽¹⁾ mg/kg	Saastuneen maan raja-arvo mg/kg ⁽²⁾
Arseeni, As	30 - 31	0,6 - 10	50
Kadmium, Cd	0,45 - 1,6	0,01 - 0,7	10
Kromi, Cr	111 - 155	27 - 2300	400
Lyijy, Pb	35 - 140	5 - 500	300
Nikkeli, Ni	130	5 - 500	200
Vanadiini, V	184 - 310	0,7 - 500	500
Molybdeeni, Mo	9	0,2 - 5	200
Elohopea, Hg	0,46	0,01 - 0,3	5

Lähteet: ¹⁾ IVO Ympäristölaboratorio 30.5.95 ja tutk.selostukset VTT/KET 1043/95 ja 1152/96, 29.2.96, ²⁾ SAMASE-projekti: maaperä saastunut, jos raja-arvo ylittyy

Tutkimuksessa analysoitiin lisäksi myöhempää ympäristöseurantaa varten Kaivoksen tienvierren maaperänäytteet. Tulokset ovat *taulukossa 4*. Näytteet on otettu noin metrin etäisyydeltä asfaltin reunasta olevasta kivimurskeesta.

Taulukko 4. Kaivoksen lentotuhkakoetien tienvierien maaperän analyysitulokset /5/.

Alkuaine	Kaivoksen lentotuhkakoetien 1999 tienvierien maaperänäytteiden sisältö, mg/kg		
	1	2	3
Arseeni, As	7,3	7,5	8,1
Kadmium, Cd	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Kromi, Cr	27	28	27
Lyijy, Pb	60	67	47
Nikkeli, Ni	14	18	16
Vanadiini, V	31	38	32
Molybdeeni, Mo	2,6	2,4	1,9
Elohopea, Hg	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Bitumoituna mahdollisten epäpuhtauksien kulkeutuminen maaperään hidastuu selvästi ja tulosten mukaan (vrt. taulukko 3 ja 4) ei ole odotettavissa, että saastuneen maan raja-arvoja ylitettäisiin.

2.1.2 Lentotuhka-asfaltin ympäristökelpoisuus diffuusiotestissä

Kaivoksen kokeesta porattiin lentotuhkaa sisältävästä SMA-päällysteestä poranäyte ja tehtiin tästä hollantilainen diffuusiotesti NEN 7345 kokoomänäyttein 64 d aikana. Testin aikana päällysteestä veteen liukenevien alkuaineiden analyysitulokset ovat taulukossa 5.

Taulukko 5. Kaivoksen lentotuhkakoetien päällystenäytteen diffuusiotestin NEN 7345 tulokset /6/.

Määritetty alkuaine	Diffuusiotestissä asfaltista testattu liukoisuus veteen, 64 d, mg/m ²	Diffuusiotestin arviointikriteerit rakenteissa, mg/m ² /64d	
		Sijoitusluokka 1A, eristämätön pysyvä kostea sijoituspaikka	Sijoitusluokka 1B, eristämätön ajoittain kostea sijoituspaikka
Arseeni, As	< 3,6	41	140
Kadmium, Cd	< 0,7	1,1	3,8
Kromi, Cr	< 1,7	140	480
Lyijy, Pb	< 3,3	120	400
Nikkeli, Ni	< 3,3	50	170
Vanadiini, V	< 2,0	230	760
Molybdeeni, Mo	< 1,9	14	48
Elohopea, Hg	< 0,6	0,4	1,4

2.2 Lentotuhkan käsittelyn vaiheet

2.2.1 Käsittely lentotuhkan varastolla ja asfalttiasemalla

Kuvassa 3 on yleisnäkymä Fortumin voimalaitokselta Naantalista.



Kuva 3. Fortumin kivihillivoimala, Naantali.

Voimalaitoksessa poltetaan kivihiiltä pölypolttotekniikalla. Pölypolttotekniikalla tarkoitetaan polttoa, jossa kivihiili ennen polttoa jauhetaan hienoksi ja puhalletaan polttokattilaan suuttimista. Voimalaitoksessa ei siis käytetä leijupetipolttotekniikkaa, jossa kivihiili erotuksena edellisestä poltetaan karkeana.

Lentotuhkan käsittelyprosessi Naantalin voimalaitoksessa on kokonaan suljettu, *kts. kuvat 4 - 8 ja liite 1*. Kokonaiskäsittelyn prosessissa lentotuhka erotetaan sähkösuodattimin savukaasusta. Tuhka johdetaan tämän jälkeen ns. välisiiloon paineilmalähettimillä. Välisiilosta tuhka lähetetään öisin ns. kausivarastoon. Kausivarastosta lentotuhka siirretään paineilmalähettimin edelleen autolastaussiiloon. Autolastaussiilosta lentotuhka puhalletaan suljetusti lentotuhkaa kuljettavan tankkiauton säiliöön.

Voimalaitoksen lastaussiiloista on tilapäisesti käytössä piippusiilo, *kuvat 4 - 5* ja vakiokäytössä kausivaraston autolastaussiilo, *kuvat 6 - 8*. Piippusiiloon mahtuu lentotuhkaa noin 3000 m³ ja kausivaraston autolastaussiiloon noin 12 000 m³. Piippusiilossa on myös märkälatauksen mahdollisuus.



Kuva 4. Piippusiilo.



Kuva 5. Piippusiilon autolastausalue.

Piippusiilon autoonlastaustilan katossa (kuva 5) on märkäpurkusukka, josta lentotuhka syötetään alle ajavan tankkiauton säiliöön.



Kuva 6. Lentotuhkan kausivaraston autolastaussiilo.

Kausivaraston autolastaussiilossa (kuva 7) tankkiauto ajaa niinikään siilon alla olevaan tilaan. Tämän tilan yläpuolelle on rakennettu automatisoitu autolastaussiilon purkauslaitteisto, joka on ylhäältä otetussa kuvassa 8.



Kuva 7. Kausivaraston lastausiilon autoon kuormauksen alue.



Kuva 8. Kausivaraston lentotuhkan annostuslaite siilon päältä kuvattuna.

Kuvan 8 autolastaussiilon annostuslaite annostelee lentotuhkan suoraan alle ajavan tankkiauton tankkiin.

Selvityksen työsuojelullisessa osiossa tarkasteltiin kokonaisketjun; lentotuhkan toimitus varastosta hyötykäyttöön, työturvallisuutta. Työskentelyn kannalta pölyviä tiloja voivat lastaustilanteessa olla *kuvien 5 ja 7* työskentelytilat; piippusiilon ja kausivaraston varsinaiset tankkiin syöttötilat. Tilapäisesti näissä tiloissa työskentelevät lentotuhkaa kuljettavan tankkiauton kuljettaja sekä ajoittain huoltohenkilökuntaa.

Asfalttiasemalle, esim. Naantalista Maantiekylään, lentotuhka kuljetetaan edelleen suljetussa tankkiautossa. Asfalttiasemalla lentotuhka tyhjennetään siilon, jolloin asfalttiasemalla lähinnä vain tankkiauton kuljettaja on tilapäisesti altistuneena purkaustilan pölylle.

Varsinaisessa asfaltin valmistuksessa lentotuhkan pöly sekoittuu osaksi käytettävän kiviaineksen pölyä. Nykyaikaisten asfalttiasemien pölysuodattimet ovat kuitenkin siksi tehokkaita, että asfalttiasemia voidaan pitää suhteellisen pölyttöminä.

2.2.2 Asfaltin levityksen olosuhteet

Yleiskuvasta 9 nähdään asfaltin levityksen työskentelyketju tiellä. Levitysketju koostuu tielle kuumaa asfalttimassaa tuovasta kuorma-autosta, levittäjästä kuljettajineen, kolamiehestä, perämiehestä ja jyräyskalustosta ajajineen sekä muusta teknisestä henkilökunnasta.



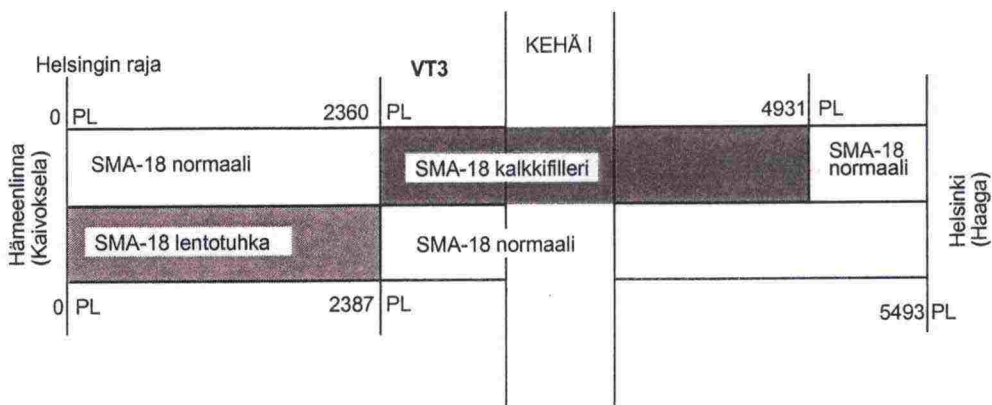
Kuva 9. SMA:n levitys yötyönä Vt 3 Kaivoksela / lentotuhkakoetie 1999.

Asfaltoinnissa muodostuu turvallisuusriskejä ohiajavasta liikenteestä sekä eri työvaiheiden (kuljetus, levitys, työstö, jyräys) yhtäaikaaisuudesta. Korostaen oikeita työskentelytapoja, voidaan asfaltoinnissa nykytekniikalla selvästi alentaa työperäisiä vaikutuksia sekä lisätä turvallisuutta. Tienpäällystykseen henkilökunta tekee myös suhteellisen tilapäistä ja kausiluontoista työtä. Vuotuinen työaika on keskimäärin noin 6 kk.

2.3 Kaivoksen lentotuhkakoetie 1999

2.3.1 Koeosuudet

Ympäristötyöterveyden varsinaisena kenttäkokeena toteutettiin kesäkuun alussa 1999 koetie VT 3:lla Helsingissä, lähellä Kaivoksela. Koetien osuudet on merkitty kuvan 10 koetiekarttaan.



Kuva 10. Lentotuhkakoetien Vt 3 Kaivoksela 1999, koeosuudet.

Koeosuuksia, joilla ilman epäpuhtauksia mitattiin oli kaksi; SMA-18 täytejauheena Naantalin lentotuhka ja tavallinen kalkkifilleri. Osuudet päällystettiin Helsingin rajalta Haagan suuntaan yötyönä. Massat valmistettiin Uudenmaan tiepiirin Maantiekylän koneasemalla ja levitys tehtiin piirin omalla kalustolla. Työnaikaiset vuorotyöilmoitukset ja kiviaineksen seulontakäyrän seuranta, kts. liite 2.

Vertailuosuus päällystettiin vastakkaisella kaistalla, massana SMA-18 ja siinä fillerinä normaali kalkkikivitäytejauhe. Molemmilla osuuksilla epäpuhtaudet mitattiin työntekijöiden, kts. kuva 10 hengitysvyöhykkeellä.

2.3.2 Koeosuuksien SMA-massan laboratoriosuhteitus ja toiminnalliset ominaisuudet

Ennen Kaivoksen koetien toteuttamista käytettyjen SMA-päällysteiden laatu suunniteltiin ja toiminnallisuus testattiin VTT:ssa. Tutkimuksessa käytettiin samaa kiviainesta (Koskenkylä), samaa kiviaineskäyrää ja bitumia (B80) sekä kuitua (Tobcell-granuli) kuin, mitä Maantiekylän koneasema on käyttänyt aikaisemmin lentotuhka-SMA:ssa. Lajitteista laboratoriossa suhteitettu Kaivoksen SMA:n kiviaineskäyrä, kts. liite 3.

Suhteituksen perusteella saadut SMA 18-massojen koostumustiedot ovat taulukossa 6 ja SMA-massojen tilavuusominaisuudet taulukossa 7. SMA-18 massojen varsinaiset toiminnalliset ominaisuudet ovat taulukossa 8.

Taulukko 6. SMA 18-massojen ainesosien koostumus suhteituksessa, Vt 3 Kaivoksela 1999. Rakeisuuskäyrä, kts. liite 3.

Asfaltin materiaalit (p-%)	Kalkkifilleri- SMA	Lentotuhka-SMA
Kiviaines, Koskenkylä 0 - 2 mm	15	15
5 - 8 mm	5	5
8 - 12 mm	15	15
12 - 18 mm	55	55
Täytejauhe, Naantalin lentotuhka	-	10
Kalkkifilleri	10	-
Bitumi, B-80	5,7	6,0
Kuitu, Topcell-granuli	0,4	0,4

Taulukko 7. SMA 18-massojen tilavuusominaisuudet (ICT100-kiertotiivistin, 400 kierrosta), Vt 3 Kaivoksela 1999.

Ominaisuus	Kalkkifilleri	Lentotuhka	Vaatus	Menetelmä
Bitumipitoisuus, p-%	5,7	6,0	-	-
Päällysteen tiheys kg/m ³	2394	2365	-	PANK 4112
Massan tiheys kg/m ³	2476	2442	-	PANK 4108
Tyhjätila, til. %	3,3	3,2	2-5	PANK 4114
Kiviaineksen tyhjätila til. %	17	17	16-20	"
Täyttöaste til. %	80	81	80-90	"

Taulukko 8. SMA 18-massojen toiminnalliset ominaisuudet, Vt 3 Kaivoksela 1999. Rinnakkaiskokeet mukana.

Ominaisuus	Kalkkifilleri	Lentotuhka	Vaatus	Menetelmä
Asfalttilaatasta:				
- Päällysteen tiheys	2413	2382	-	PANK 4112
- Massan tiheys	2476	2442	-	PANK 4108
- Tyhjätila	2,5	2,5	2-5	PANK 4114
Kiviaineksen tyhjätila	16	17	16-20	"
Täyttöaste	84	85	80-90	"
Bitumi-pitoisuus	5,7	6,0	-	-
Kiaineksen tiheys	2710	2680	-	-
SRK-nastarengas-kuluma cm ³	18	17	≤ 25 I luokka	PANK 4209
Deformaatio:				
- Jaksollinen viruma %	2,7	2,7	≤ 3,5 II luokka	PANK 4208
Elastinen jäykkyys Mpa	159	164	-	-
Pyöräuritus-koe (kts. liite 4):				
- alku-ura, mm	2,1	2,0	≤ 1,5 II luokka	PANK 4205
- Kokonais-ura, mm	5,6	6,2	≤ 8,0 II luokka	"

2.4 Muut vertailumittauskohteet ja niiden materiaalit

Koska Vt 3 Kaivoksela - kenttäkokeen aikana (liite 5) sää oli epävaka ja sateinen, päätettiin tuloksia varmistaa vielä erikseen kahdessa eri mittauskohteessa. Näissä käytetty lentotuhka oli myös eri tuottajalta. Mittauskohteiden päällystysten aikaiset havainnot ovat liitteessä 6.

2.4.1 Vertailukoetie Vt 4

Referenssikoetien Vt 4 SMA-massassa oli lentotuhkana Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy:n tuhka merkinnöin Salmisaari 2 ja Inkoo. Päällystyskohteena oli Lahti Renkomäen ylikulkusilta ja sillan rampit. Levityksen teki Asfaltti-Tekra Oy. Päällystys tehtiin poutaisessa, mutta tuulisessa säässä.

2.4.2 Vertailukoetie Vt 6

Toinen referenssikoetie päällystettiin kohteessa Vt 6 Utti-Luumäki, urakoitsijana Valtatie Oy.

Mittauskohteena oli työskentely tavallisella SMA-massalla, joka sisälsi Siipoon Nordkalkin kalkkikivijauhetta. Päällystyskohteena oli tarkemmin Vt 6 välillä Kaipainen - Pajari, jossa päällytettiin suora tieosuus. Tienpäällystykseen aikana oli poutainen ja tuulinen sää.

3 TYÖOLOSUHDETUTKIMUKSET

3.1 Tutkimuskohteen määrittely

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää vaikuttaako kivihiilen lentotuhkan käyttö kalkkikiven tilalla täytejauheena kivimastikiasfaltissa (SMA) työntekijöiden altistumistasoihin ja kokemiin haittoihin. Ilman epäpuhtauksia mitattiin sekä asfalttiasemalla että tienpäällystyksessä. Lisäksi mitattiin autonkuljettajan, joka lastaa ja purkaa lentotuhkakuorman, altistumista pölylle. Työntekijöiden kokemia haittoja tutkittiin kyselyllä.

3.2 Tutkimusmenetelmät

3.2.1 Mittauskohteet ja olosuhteet mittausten aikana

Kivihiilen lentotuhkan käytön vaikutuksia tienpäällystyksessä tutkittiin kahdella kenttäkokeella. Kenttäkokeet koostuivat mittauksista, jotka tehtiin valmistettaessa ja levitettäessä lentotuhkaa sisältävää asfalttia ja vertailuna tehtiin samat mittaukset valmistettaessa ja levitettäessä kalkkifilleriä sisältävää asfalttia. Ensimmäinen kenttäkoe tehtiin 7.-8.6.1999 Vt 3:lla välillä Kai-voksela-Haaga. Ensimmäisenä yönä levitettiin lentotuhka-SMA:ta (LT-SMA) ja toisena yönä kalkki-SMA:ta (K-SMA). Tällöin tutkittiin myös ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia asfalttiasemalla. Toinen kenttäkoesarja tehtiin 25.8.1999 Vt 6:lla välillä Utti-Luumäki, jolloin levitettiin kalkki-SMA:ta, ja 1.9.1999 Vt 4:lla Lahden Renkomäessä, missä levitettiin lentotuhka-SMA:ta.

Tienpäällystyskohteissa mitattiin ilman epäpuhtauksien pitoisuudet levittimen päältä, jyrän ohjaamosta sekä levittimen kuljettajan, perämiehen, lapio-miehen tai kolamiehen, liimakoneen kuljettajan sekä liikenteenjärjestelijän/ohjaajan hengitysvyöhykkeiltä.

Kesäkuun mittauksien asfalttimassat valmistettiin Tielaitoksen Maantiekylän asfalttiasemalla. Mittauskohteet asfalttiasemalla olivat sekoitintaso, kivihiilen lentotuhkan purkauspaikka ja taustapitoisuuksien mittauspaikka. Asfalttiaseman apumiehellä ja kivihiilen lentotuhkaa kuljettavalla autonkuljettajalla oli henkilökohtaiset näytteenkeräimet.

Kesäkuun ja syksyn kenttäkokeissa oli eroja olosuhteissa. Asfalttimassan lämpötila levitettäessä oli 20 °C korkeampi kesäkuun mittauksissa kuin syksyn mittauksissa. Kesäkuun mittaukset tehtiin yöllä, jolloin ilman suhteellinen kosteus oli suurempi kuin päivällä tehdyissä mittauksissa. Lisäksi tuuliolosuhteet olivat erilaiset kenttämittauksissa. Kesäkuun mittauksissa sää oli tyyni, kun taas syksyn mittauksissa oli kohtalainen tuuli. Yksityiskohtaiset tiedot mittausten aikaisista olosuhteista on esitetty liitteissä 5 ja 6.

3.2.2 Näytteenkeräys- ja mittausmenetelmät

Kesäkuun kenttäkokeessa asfalttiasemalla mitattiin kokonaispölyn, bitumi-huurun, bitumihöyryn ja polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoi-

suudet sekoitintasolta. Asfalttiaseman apumieheltä mitattiin kokonaispöly- ja bitumihuuropitoisuudet. Taustamittauspisteestä, joka sijaitsi asfalttiaseman piha-alueella valvomon vieressä, mitattiin kokonaispöly- ja PAH-pitoisuudet. Lentotuhkakuorman lastaus- (Naantalissa) ja purkupaikalta (Maantiekylässä) mitattiin kokonaispölypitoisuudet. Lentotuhkakuorman autonkuljettajalta, joka hoitaa kuorman lastauksen ja purkamisen, mitattiin työvuoron aikainen altistuminen kokonaispölylle.

Kesäkuun kenttäkokeessa tienpäällystyksessä mitattiin kokonaispöly-, bitumihuuru-, bitumihöyry- ja PAH-pitoisuudet levittimen päältä, perämieheltä ja lapiomieheltä. Jyrän ohjaamosta kerättiin kokonaispöly-, bitumihuuru- ja bitumihöyrynäytteet. Liikenteenohjaajalta kerättiin vain PAH-näytteet. Levittimen kuljettajalta, perämieheltä, lapiomieheltä, liimakoneen kuljettajalta ja liikenteenjärjestäjältä mitattiin myös iholta PAH-yhdisteet. Näytteiden keräysaika oli työvuoron mittainen eli 6 - 8 h.

Syksyn kenttäkokeissa mitattiin kokonaispöly-, bitumihuuru-, bitumihöyry- ja PAH-pitoisuudet levittimen päältä (kuljettajalta), perämieheltä ja kolamieheltä. Syksyn kalkki-SMA:n levityksessä mitattiin myös liimakoneen kuljettajan ja liikenteenohjaajan PAH-pitoisuudet. Myös syksyn kenttäkokeessa mitattiin iholle kertyneiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet levittimen kuljettajalta, perämieheltä, kolamieheltä, liimakoneen kuljettajalta ja liikenteenohjaajalta. Kalkki-SMA:n levityksessä näytteiden keräysaika oli koko työvuoro, noin 8 h, kun taas lentotuhka-SMA:n levityksessä näytteiden keräysaika oli noin 4 h. Liitteissä 7 ja 8 on esitetty eri kohteissa kerätyt näytteet. Taulukossa 9 on esitetty ilman epäpuhtauksien sekä ihon PAH-yhdisteiden mittaamiseen käytetyt näytteenkeräysmenetelmät sekä analysointitekniikat.

Taulukko 9. Näytteenkeräys- ja analysointimenetelmät.

Yhdiste	Keräin	Virtausnopeus	Keräysaika	Analysointitekniikka
Kokonaispöly, bitumihuuru	Teflon suodatin 1,0µm, (SKC 225-17-05)	1,0 l/min	työvuoro	Gravimetrisen, FTIR
Haihtuvat hiilivedyt	XAD-2 (SKC 226-30-06) Tenax	1,0 l/min 0,1 l/min	työvuoro 60 min	HRGC/MS
PAH (ilma)	Teflon suodatin, 2,0µm, (SKC 225-1707) + XAD-2 (SKC 226-30-05)	1,0 l/min	työvuoro	HPLC/FLD
PAH (iho)	Käsille auringonkukkaöljy-pesu+ Kleenex ennen ja jälkeen työvuoron			HPLC/FLD

Kokonaispölypitoisuudet määritettiin suodattimista gravimetrisesti Uudenmaan aluetyöterveyslaitoksessa (UATTL/ menetelmä SFS-3860). Tämän jälkeen suodattimet uutettiin tetrakloorietyleeniin (C_2Cl_4) ja määritettiin bitumihuurupitoisuudet Fourier-muunnos infrapunaspektrometrillä (FTIR). Mitaukset teki Työterveyslaitoksen Työhygienian ja toksikologian osasto /7/.

XAD-hartseista uutettiin haihtuvat hiilivedyt (TVOC) eli bitumihöyryt dikloorimetaaniin (CH_2Cl_2) ja määritettiin pitoisuudet korkean erotuskyvyn kaasukromatografi-massaspektrometrialla (HRGC-MS). Tenax-näytteistä TVOC:t määritettiin termodesorptiota käyttäen kaasukromatografi-massaspektrometrilaitteistolla (termodesorptio GC/MS). Haihtuvien hiilivetyjen analyysit teki UATTL /8/.

Polyaromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuudet ilmasta analysoitiin sekä suodattimilta (hiukkaset) että XAD-hartseista (haihtuvat) /8/. Suodattimet uutettiin sykloheksaaniin ja hartsit asetonitriliin. Näytteet ihon PAH-pitoisuuksien määrittämiseksi kerättiin siten, että ennen ja jälkeen työvuoron työntekijät pesivät kätensä 3 ml auringonkukkaöljyä ja öljy pyyhittiin Kleenex-pyyhkeisiin. Kleenex-pyyhkeistä PAH-yhdisteet uutettiin dikloorimetaanilla /9/. Kaikista PAH-näytteistä tutkittiin 15 eri PAH-yhdisteen pitoisuudet. PAH-analyysit tehtiin nestekromatografisesti (HPLC/FLD) Työterveyslaitoksen Työhygienian ja toksikologian osastolla.

3.2.3 Työolosuhdekysely

Tietyöntekijöille tehtiin kysely haastattelemalla työntekijöitä työvuoron lopulla. Kyselyssä tiedusteltiin työntekijän kokemuksia lentotuhkaa sisältävän ja kalkkifilleriä sisältävän asfaltin tahraavuudesta, hajusta sekä ärsyttävyydestä silmille ja hengitystiehyille. Kyselylomake on liitteessä 9.

3.2.4 Työhygieeniset vertailuarvot

Suomessa on asetettu epäorgaanisen pölyn eli kokonaispölyn haitalliseksi, tunnetuksi pitoisuudeksi (HTP_{90} - arvo) 10 mg/m^3 8h altistuksessa /10/.

HTP-arvo orgaaniselle pölylle, kuten bitumihuurulle on 5 mg/m^3 (8 h keskipitoisuus). Yhdysvalloissa bitumihuurun raja-arvo on 5 mg/m^3 kokonaispölynä. ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) on kuitenkin ehdottanut uudeksi raja-arvoksi $0,5 \text{ mg/m}^3$ sykloheksaaniin liukenevaa pölyä /11/.

Höyrymäisille yhdisteille ei ole annettu HTP-arvoa. PAH-yhdisteistä on bentso(a)pyreenille asetettu Suomessa suurimmaksi sallituksi pitoisuudeksi $0,01 \text{ mg/m}^3$ /10/. Norjassa on suositeltu PAH-yhdisteiden yhteispitoisuuden raja-arvoksi $0,04 \text{ mg/m}^3$ /12/.

3.3 Tulokset

3.3.1 Asfalttiasema

Asfalttiasemalla mitatut ilman epäpuhtaudet on esitetty taulukossa 10. Asfalttiasemalla sekoitintasolla olivat kokonaispölypitoisuudet hieman suuremmat valmistettaessa lentotuhka-SMA:ta ($8,3 \text{ mg/m}^3$) kuin kalkki-SMA:n valmistuksessa ($7,4 \text{ mg/m}^3$).

Lentotuhkakuorman purkupaikalla Maantiekylässä kokonaispölypitoisuus oli $0,4 \text{ mg/m}^3$ purettaessa lentotuhkakuormaa ja $0,8 \text{ mg/m}^3$ valmistettaessa kalkki-SMA:ta. Asfalttiaseman piha-alueella kokonaispölypitoisuudet olivat vastaavasti $0,1$ ja $0,3 \text{ mg/m}^3$. Bitumihuuru- ja bitumihöyrypitoisuudet mitattiin sekoitintasolta. Molemmat pitoisuudet olivat hieman suuremmat kalkki-SMA:lle kuin lentotuhka-SMA:lle. Polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuutta mitattiin asfalttiasemalla sekoitintasolta sekä asfalttiaseman piha-alueelta valvomon edestä. Sekoitintasolla PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudet olivat $5,0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ valmistettaessa lentotuhka-SMA:ta ja $7,8 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ valmistettaessa kalkki-SMA:ta. Taustapitoisuudet olivat pieniä ollen vastaavasti $0,1$ ja $0,3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Valmistettaessa kalkki-SMA:ta asfalttiaseman apumiehellä oli hengitysvyöhykkeellä näytteenkeräimet kokonaispölylle ja bitumihuuruille. Kokonaispölypitoisuus oli $3,0 \text{ mg/m}^3$ ja bitumihuurupitoisuus oli $0,1 \text{ mg/m}^3$. Lentotuhkakuorman kuljetuksesta vastanneen autonkuljettajan altistuminen kokonaispölylle työvuoron aikana mitattiin, koska autonkuljettaja suoritti kuorman lastauksen ja purkamisen. Autonkuljettajalta mitattu kokonaispölypitoisuus oli $1,9 \text{ mg/m}^3$.

Taulukko 10. Maantiekylän asfalttiasemalta mitatut ilman epäpuhtaudet.

Massa	Ammatti/ paikka	Kokonaispöly mg/m^3	Bitumihuuru mg/m^3	TVOC mg/m^3	PAH $\mu\text{g/m}^3$
lentotuhka-SMA	sekoitintaso	8,3	1,9	6,5	5,0
	autonkuljettaja	1,9			
	lastaus Naantali	0,9			
	purku Maantiekylä	0,4			
	tausta	0,1			0,1
kalkki-SMA	sekoitintaso	7,4	2,2	7,8	13,6
	purkupaikka	0,8			
	apumies	3	0,1		
	tausta	0,3			0,3

TVOC=haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli bitumihöyryt, PAH=polysykliset aromaattiset hiilivedyt

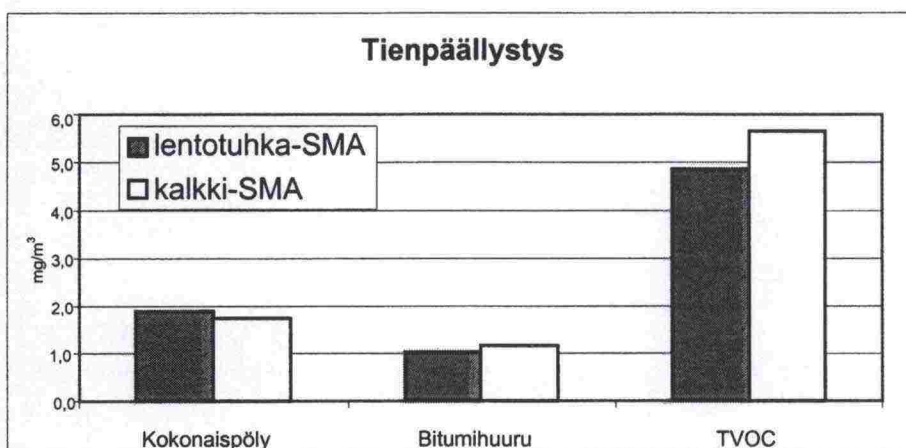
3.3.2 Tienpäällystys

3.3.2.1 Kokonaispöly-, bitumihuuru- ja bitumihörypitoisuudet

Kokonaispölypitoisuuksien keskiarvo mittauksissa oli $1,9 \text{ mg/m}^3$ lentotuhka-SMA:lle ja $1,8 \text{ mg/m}^3$ kalkki-SMA:lle. Kesäkuun kenttämittauksissa kokonaispölypitoisuudet olivat levittimen päällä korkeita: lentotuhka-SMA:lla $8,5 \text{ mg/m}^3$ menosuunnassa levittimen vasemmalla laidalla ja $3,8 \text{ mg/m}^3$ levittimen oikealla laidalla ja kalkki-SMA:lla $9,7 \text{ mg/m}^3$ vasemmalla laidalla. Syksyn kenttäkokeessa kaikki mitatut kokonaispölypitoisuudet jäivät alle $1,0 \text{ mg/m}^3$.

Bitumihuurumittauksien keskiarvopitoisuus oli $1,0 \text{ mg/m}^3$ lentotuhka-SMA:lle ja $1,2 \text{ mg/m}^3$ kalkki-SMA:lle. Kesäkuun mittauksissa levittimen päällä lentotuhka-SMA:n levityksessä bitumihuurupitoisuus oli $5,6 \text{ mg/m}^3$ ja kalkki-SMA:n levityksessä pitoisuus oli $6,9 \text{ mg/m}^3$. Perämiehen hengitysvyöhykkeeltä mitatut pitoisuudet olivat $1,3 \text{ mg/m}^3$ lentotuhka-SMA:n levityksessä ja $2,0 \text{ mg/m}^3$ kalkki-SMA:n levityksessä. Lapiomieheltä mitatut pitoisuudet olivat vastaavasti molemmilla massoilla $0,8 \text{ mg/m}^3$. Syksyn mittauksissa bitumihuurupitoisuudet jäivät alle $0,5 \text{ mg/m}^3$.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) eli bitumihöyryjen keskiarvopitoisuudet olivat $4,9 \text{ mg/m}^3$ lentotuhka-SMA:n levityksessä ja $5,6 \text{ mg/m}^3$ kalkki-SMA:n levityksessä. Kesäkuun mittauksissa bitumihörypitoisuudet olivat 20 mg/m^3 (LT-SMA) ja 21 mg/m^3 (K-SMA) levittimen päällä, kun taas syksyn mittauksissa pitoisuudet olivat 10-kertaa pienempiä molemmille massoille. Kuvassa 11 on esitetty kenttäkokeissa mitattujen kokonaispölyn, bitumihuurun ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) keskiarvopitoisuudet.



Kuva 11. Tienpäällystyksessä mitatut kokonaispöly-, bitumihuuru- ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) keskiarvopitoisuudet.

3.3.2.2 Polysykliset aromaattiset hiilivedyt ilmassa ja iholla

Mittaustulokset on esitetty taulukossa 11 ja 12, kts. myös liitteet 10 - 12. Myös PAH-yhdisteiden pitoisuuksissa oli suuri tasoero kesäkuun ja syksyn mittauksien välillä. Liikenteenjärjestäjän ja -ohjaajan mittaustulokset kuvaivat ympäristön ja taustan PAH-pitoisuuksia.

Pääosa mitatuista PAH-yhdisteistä oli höyrymuodossa olevia kaksi ja kolmi-renkaisia yhdisteitä kuten naftaleeni ja fenantreeni. Höyrymuodossa olevan naftaleenin osuus kokonais-PAH:sta oli 45 % lentotuhka-SMA:lla ja 34 % kalkki-SMA:lla ja fenantreenin osuus oli 44 % lentotuhka-SMA:lle ja 52 % kalkki-SMA:lle. Neljä tai yli neljä renkaisten PAH-yhdisteiden osuus kokonaispitoisuudesta oli molempien massojen levityksessä 5,6 %. Levittimen päällä PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus oli kesäkuun mittauksissa korkea ollen kalkki-SMA:n levityksessä 45,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vastaava pitoisuus lentotuhka-SMA:n levityksessä oli 13,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Taulukko 11. Ilman PAH-pitoisuudet valmistettaessa ja levitettäessä kalkki-SMA:ta.

Kohde	2-3 renkaiset PAH:t $\mu\text{g}/\text{m}^3$	≥ 4 renkaiset PAH:t $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Yhteensä $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Asfalttiasema 8.6.99			
sekoitintaso	13,56	0,35	13,91
tausta	0,86	0,09	0,95
VT 3 8.6.99			
levitin	42,92	2,96	45,88
perämies	8,30	0,66	8,96
lapiomies	5,58	0,32	5,90
liikenteenohjaaja	1,61	0,09	1,70
VT 6 25.8.99			
levittimen kuljettaja	6,47	0,20	6,67
perämies	4,49	0,17	4,66
kolamies	2,99	0,13	3,12
liimakoneenkuljettaja	1,62	0,09	1,71
liikenteenohjaaja	0,66	0,09	0,75

Taulukko 12. Ilman PAH-pitoisuudet valmistettaessa ja levitettäessä lentotuhka-SMA:ta.

Kohde	2-3 renkaiset PAH:t $\mu\text{g}/\text{m}^3$	≥ 4 renkaiset PAH:t $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Yhteensä $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Asfalttiasema 7.6.99			
sekoitintaso	5,28	0,26	5,54
tausta	0,70	0,09	0,79
VT 3 7.6.99			
levitin	13,08	1,13	14,21
perämies	6,14	0,53	6,66
lapiomies	6,59	0,32	6,91
liikenteenohjaaja	0,85	0,09	0,94
VT 4 1.9.99			
levittimen kuljettaja	2,87	0,12	2,99
perämies	5,94	0,20	6,14
kolamies	3,37	0,13	3,50

Lentotuhka-SMA:n levityksessä työvuoron aikana käsiin kertyi keskimäärin PAH-yhdisteitä $4,3 \mu\text{g}$ ja kalkki-SMA:n levityksessä $6,1 \mu\text{g}$. Iholta mitatut PAH-pitoisuudet ovat liitteessä 10 - 12. Yksittäisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet iholla olivat yhdensuuntaiset ilmanäytteiden kanssa. Fenantreenin (40 % LT-SMA ja 37% K-SMA) ja naftaleenin (20% ja 27% vastaavasti) osuudet olivat suurimmat kokonaispitoisuuksista.

3.3.3 Työolosuhdekysely

Työolosuhdekyselyn tulokset ovat liitteessä 9. Massojen välille ei tullut eroja vastauksien perusteella. Molemmat massat koettiin vaatteita ja ihoa tahraaviksi sekä hajultaan epämiellyttäviksi. Neljä kymmenestä koki lentotuhka-SMA:n hengitystiehyitä ärsyttäväksi ja kuusi yhdestätoista koki kalkki-SMA:n hengitystiehyitä ärsyttäväksi. Hieman useampi koki lentotuhka-SMA:n (6/10) ja kalkki-SMA:n (7/11) silmiä ärsyttäväksi. Vain kaksi työntekijää kokivat, että massat ärsyttävät ihoa. Päänsärkyä ja väsymystä tunsu yksi työntekijä lentotuhka-SMA:n levityksessä ja kaksi työntekijää tunsu päänsärkyä ja yksi väsymystä kalkki-SMA:n levityksessä.

3.4 Työolosuhdetutkimukset

Kokonaispöly

Asfalttiasemalla sekoitintasolla oli kokonaispölypitoisuus hieman suurempi lentotuhka-SMA:ta ($8,3 \text{ mg}/\text{m}^3$) valmistettaessa kuin kalkki-SMA:n ($7,4 \text{ mg}/\text{m}^3$) valmistuksen aikana. Pitoisuuksien ero ei kuitenkaan ollut merkittävä. Valmistettaessa kalkki-SMA:ta asfalttiaseman apumiehen hengitysvyö-

hykkeeltä mitattu kokonaispölypitoisuus oli alle HTP-arvon, joka on 10 mg/m^3 . Autonkuljettajan, joka vastasi lentotuhkakuorman lastauksesta ja purkamisesta, hengitysilman kokonaispölypitoisuus oli $1,9 \text{ mg/m}^3$.

Tienpäällystyksessä kokonaispölyn aritmeettinen keskiarvopitoisuus oli yhtä suuri lentotuhka-SMA:n ($1,9 \text{ mg/m}^3$) ja kalkki-SMA:n ($1,8 \text{ mg/m}^3$) levityksessä. Kesäkuun kenttäkokeessa levittimen päällä oli kokonaispölypitoisuuksissa suuret erot riippuen siitä kummalla puolella levitintä näytteenkeräin sijaitsi. Levittimen vasemmalla laidalla (menosuuntaan katsottuna) mitattiin Vt 3:lla lentotuhka-SMA:n levityksessä kokonaispölypitoisuus $8,5 \text{ mg/m}^3$ ja oikealla laidalla $3,6 \text{ mg/m}^3$. Kalkkijauhetta sisältävän asfaltin levityksessä Vt3:lla oli vastaava pitoisuus vasemmalla laidalla $9,7 \text{ mg/m}^3$. Tuulen suunnalla oli suuri merkitys näytepitoisuuksiin. Perämiehen, lapiomiehen ja kolamiehen hengitysvyöhykkeeltä mitatut pitoisuudet vaihtelivat $0,4 - 1,3 \text{ mg/m}^3$ lentotuhkaa sisältävän SMA:n levityksessä ja $0,1 - 2,0 \text{ mg/m}^3$ kalkkijauhetta sisältävän SMA:n levityksessä.

Bitumihiuurut ja haihtuvat orgaaniset hiilivedyt (TVOC)

Bitumihiuurupitoisuudet olivat sekä asfalttiasemalla että tienpäällystyksessä hieman suuremmat kalkki-SMA:lla kuin lentotuhka-SMA:lla. Asfalttiasemalla pitoisuudet olivat $2,2 \text{ mg/m}^3$ kalkki-SMA:lle ja $1,9 \text{ mg/m}^3$ lentotuhka-SMA:lle sekoitintasolta mitattaessa. Asfalttiaseman apumiehen hengitysvyöhykkeeltä mitattu bitumihiuurupitoisuus oli $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Tienpäällystyksessä levittimen päällä Vt3:lla bitumihiuurupitoisuudet olivat molemmilla massoilla yli HTP-arvon, joka on 5 mg/m^3 . Levittimen päältä mitatut pitoisuudet olivat $5,6 \text{ mg/m}^3$ (LT-SMA) ja $6,9 \text{ mg/m}^3$ (K-SMA). Perämiehen ja lapiomiehen hengitysvyöhykkeeltä mitatut bitumihiuurupitoisuudet olivat $0,8$ ja $0,5 \text{ mg/m}^3$ levitettäessä lentotuhka-SMA:ta ja $1,3$ ja $0,5 \text{ mg/m}^3$ levitettäessä kalkki-SMA:ta. Levitettäessä lentotuhka-SMA:ta bitumihiuurupitoisuudet vaihtelivat välillä $0,1 - 5,6 \text{ mg/m}^3$ keskiarvopitoisuuden ollessa $1,0 \text{ mg/m}^3$. Kalkki-SMA:n levityksessä bitumihiuurupitoisuudet vaihtelivat välillä $0,04 - 6,9 \text{ mg/m}^3$, keskiarvon ollessa $1,2 \text{ mg/m}^3$. Bitumihiuurupitoisuudet olivat Vt6:lla ja Vt4:lla alle $0,5 \text{ mg/m}^3$.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat kesäkuun kenttämittauksissa suuremmat kuin syksyn kenttämittauksissa ja kalkki-SMA:n levityksen aikana hieman suuremmat kuin lentotuhka-SMA:n levityksessä. Keskiarvopitoisuudet tienpäällystyksessä olivat $4,9 \text{ mg/m}^3$ lentotuhka-SMA:lle ja $5,6 \text{ mg/m}^3$ kalkki-SMA:lle.

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH)

Asfalttiasemalla sekoitintasolla lentotuhka-SMA:n aikana PAH-pitoisuudeksi mitattiin $5,0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ja kalkki-SMA:n aikana $13,6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Asfalttiaseman pihalueen taustapitoisuudet olivat vastaavasti $0,1$ ja $0,3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Tienpäällystyksessä kaikkien PAH-yhdisteiden keskiarvopitoisuus oli lentotuhka-SMA:lle $5,7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ja kalkki-SMA:lle $11,6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Keskiarvopitoisuuksia nosti VT3:lla levittimen päältä mitatut pitoisuudet, jotka olivat vas-

taavasti 13,9 ja 45,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Norjassa on suositeltu PAH-yhdisteiden yhteispitoisuuden raja-arvoksi 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kenttäkokeissa PAH-yhdisteiden pitoisuudet vaihtelivat lentotuhka-SMA:lla välillä 1,0-13,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja kalkki-SMA:lla välillä 1,4-45,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kalkki-SMA:n levityksen aikana PAH-pitoisuudet olivat hieman korkeammat kuin lentotuhka-SMA:n levityksessä.

Pääosa PAH-yhdisteistä oli höyrymuodossa olevia kaksi- ja kolmirenkaisia yhdisteitä, kuten naftaleeni ja fenantreeni. Neljä tai yli neljärenkaisia PAH-yhdisteitä esiintyi noin 5 % kokonais-PAH-pitoisuudesta. Alle neljärenkaiset PAH-yhdisteet ovat ärsyttäviä yhdisteitä ja yli neljärenkaiset PAH-yhdisteet ovat mahdollisia karsinogeenisia yhdisteitä.

Työntekijöiden käsistä mitattu PAH-pitoisuuden keskiarvo oli lentotuhka-SMA:n levityksessä 4,3 $\mu\text{g}/\text{kädet}$ ja kalkki-SMA:n levityksessä 7,0 $\mu\text{g}/\text{kädet}$. Suurimmat pitoisuudet olivat kesäkuun kenttäkokeessa Vt3:lla levittimen kuljettajalla (vastaavasti 10,0 ja 16,5 $\mu\text{g}/\text{kädet}$) ja syksyn kenttäkokeessa Vt6:lla ja Vt4:lla perämiehellä (vastaavasti 5,5 ja 6,2 $\mu\text{g}/\text{kädet}$).

Liikenteenjärjestäjältä ja -ohjaajalta mitatut PAH-pitoisuudet hengitysvyöhykkeeltä ja käsistä kuvasivat ympäristön ja liikenteen vaikutusta. Liikenteenjärjestäjän keskiarvopitoisuudet olivat lentotuhka-SMA:n levityksessä 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 0,3 $\mu\text{g}/\text{kädet}$ ja kalkki-SMA:n levityksessä 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 0,2 $\mu\text{g}/\text{kädet}$. Tulokset, kts. myös liitteet 10-12.

Muut tekijät

Kenttäkokeiden tuloksia tarkastellessa on huomioitava levityslämpötila, joka oli 180 °C kesäkuun kenttämittauksissa ja 160-165 °C syksyn kenttäkokeissa. Lisäksi sääolosuhteet vaikuttivat pitoisuuksiin. Kesäkuun kenttäkokeet suoritettiin yöllä ilman kosteuden olessa suuri, ja syksyn kenttäkokeet suoritettiin päivällä hyvin tuulisissa olosuhteissa.

Lentotuhka-SMA:n mittauksissa näytteiden lukumäärä oli pienempi, koska tienpäällystäjiä oli syksyn levitystyössä Vt4:lla vähemmän kuin Vt6:lla. Vt4:lla näytteiden keräysaika oli lyhyt, sillä päällystystyö kesti vain noin 4 h. Kesäkuun mittauksissa Vt3:lla lentotuhka-SMA:n aikana sade keskeytti välillä näytteiden oton ja näin ollen myös kesäkuussa lentotuhka-SMA:n näytteiden keräysajat olivat lyhyemmät kuin kalkki-SMA:n levityksessä hengitysvyöhykenäytteiden osalta.

Kokonaipölyn ja bitumihuurun keräykseen käytettiin 1 μm teflonsuodatinta, jonka keräystehokkuus on suurempi kuin aikaisemmissa tutkimuksissa käytetyn lasikuitusuodattimen /7/. Teflonsuodattimeen, jonka huokoskoko on 1 μm , päädyttiin laboratoriokokeiden ja kirjallisuuden perusteella /13, 14/. Teflonsuodattimen keräystehokkuus oli laboratoriokokeissa kolme kertaa parempi kuin lasikuitusuodattimen. Tulosten toistettavuus oli 1 μm teflonsuodattimella paras, hajonnan ollessa 10 %, kun lasikuitusuodattimelle hajonta oli 25 % ja 2 μm teflonsuodattimelle 24 %.

Teflonsuodatin ei kerää kosteutta, joka häiritsee gravimetristä määrittystä. Yhdysvalloissa NIOSH:n (National Institute for Occupational Safety and Health) suorittamissa tutkimuksissa, joissa on verrattu perinteisen ja rengasrouhetta sisältävän asfaltin levityksen aikaisia päästöjä, on käytetty 1 μ m teflonsuodatinta /15, 16/.

4 YHTEENVETO

Tutkimuksessa määritettiin lentotuhkan asfalttikäytön työskentely- ja ympäristövaikutuksia niin, että huomioitiin lentotuhkan varastointi ja kuljetus, lentotuhkan käyttö asfalttiasemalla ja työskentelyvaiheet asfaltin levityksessä. SMA-massojen koostumus oli ennakkoon suunniteltu ja testattu laboratoriossa. Sekä lentotuhkan että tätä sisältäneen SMA:n laatu täyttivät asfalttinenormien vaatimukset. Ympäristökestävyyttä kuvaavassa diffuusiotestissä lentotuhka-SMA:sta uuttui veteen vain erittäin vähän epäpuhtauksia. Tutkitua kompaktoitua asfalttia voidaan näin pitää diffuusiotestin kriteerien perusteella ympäristöllisesti riskittömänä. Kriteerit on laadittu Hollannissa rakennekäyttöön.

Verrattaessa levityksessä syntyviä ilman epäpuhtauksia lentotuhka-SMA:n ja kalkki-SMA:n välillä, ei epäpuhtauksien määrissä ollut merkittäviä eroja. Kokonaispölypitoisuuksien keskiarvot olivat lentotuhka-SMA:lle $1,9 \text{ mg/m}^3$ ja kalkki-SMA:n levityksessä $1,8 \text{ mg/m}^3$. Bitumihuurupitoisuudet olivat $1,2 \text{ mg/m}^3$ kalkki-SMA:lle ja $1,0 \text{ mg/m}^3$ lentotuhka-SMA:lle ja bitumihöyrypitoisuudet olivat vastaavasti $5,6$ ja $4,9 \text{ mg/m}^3$. Polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuudet olivat suuremmat kalkki-SMA:n levityksessä ($11,6 \mu\text{g/m}^3$) kuin lentotuhka-SMA:n ($5,6 \mu\text{g/m}^3$) levityksessä.

Kenttämittauksissa eniten epäpuhtauksien pitoisuuteen vaikuttivat levityslämpötila ja sääolosuhteet, minkä vuoksi kesän ja syksyn kenttämittauksien välisissä tuloksissa oli melko suuri tasoero.

Tässä raportissa esitetyt tulokset kuvaavat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia levitettäessä eri täytejauheita sisältäviä SMA-massoja. Selvitys on osa laajemmasta tutkimuksesta, joka jatkuu päällystyskaudella 2000.

Jatkotutkimuksissa tullaan edelleen mittaamaan altistumistasojen lisäksi ilman epäpuhtauksien koostumusta eri kierrätysaineita sisältävillä asfalteilla. Osana tätä tutkimusta ovat jatkossa myös bitumiemissioiden mutageenisuus- ja ärsyttävyyshälykokeet.

5 JATKOSUOSITUKSET

Tulokset osoittivat, että kesällä ja syksyllä tehdyissä kenttämittauksissa työskentelyilman epäpuhtauksien pitoisuuksissa oli melko suuria eroja.

Tämän perusteella esitetään tutkimuksen jatkosuosituksena mitattavaksi vielä päällystyskaudella 2000 lisäkohteita kalkkifilleriä ja lentotuhkaa sisältävällä SMA-massalla. Näissä kohteissa pyritään sulkemaan pois päällystykseen aikaisten säätilojen kuten kosteuden ja tuulen vaikutuksia tuloksiin.

6 VIITTEET

- /1/ Asfaltissa käytettävien kierrätysmateriaalien työterveys- ja ympäristöhaitat asfaltin tuotannossa. Environmental and occupational health risks of recycled materials in asphalt production. Proceedings SYTTY 2. The mid-term symposium of the Finnish Research Programme on Environmental Health. 29-30 March, 2000. Helsinki, Finland. Siv. 134 - 138.
- /2/ Väänänen, V. Raportti Tielaitokselle jätemuovia ja mäntyöljypikeä sisältävän bitumin laboratorikokeista. Työterveyslaitos 01.06.1999, 19 siv.
- /3/ Väänänen, V. Asfaltissa käytettävien kierrätysmateriaalien työterveys- ja ympäristöhaitat. Kirjallisuuskatsaus. Työterveyslaitos raportti 21.06.1999. 42 siv. + liitt. 3 siv.
- /4/ Asfalttinormit 2000. Päällystealan Neuvottelukunta PANK ry 1999. Siv. 55 - 56.
- /5/ Walavaara, M. Tutkimusselostus VTT/KET 2560/99, 10.11.1999. 3 siv.
- /6/ Walavaara, M. Lieriökappaleen "Kaivoksela koe 1999" diffuusiotesti. Tutkimusselostus VTT/KET 2554/99, 31.12.1999. 4 siv.
- /7/ Heikkilä, P., Riala, R., Hämeilä, M., Pfäffli, P. "Bitumihuurut - käytetyt aineet ja altistuminen tienpäällystys- ja vedeneristystöissä.", Työterveyslaitos, 1994.
- /8/ Yrjänheikki, E. Ambient and biological monitoring of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons at a coking plant. The science of the total environment 199, 151-158, 1997.
- /9/ Jongeneelen, F. J.; Scheepers, P. T.; Groenendijk, A.; Van Aerts, L. A.; Anzion, R. B.; Bos, R. P.; Veenstra, S. J. Airborne concentrations, skin contamination, and urinary metabolite excretion of polycyclic aromatic hydrocarbons among paving workers exposed to coal tar derived road tars *Am Ind Hyg Assoc J*, 49, 600-7, 1988.
- /10/ Työministeriö *HTP-arvot 1998*.; Työministeriö; Kemian Työsuojeluneuvottelukunta: Tampere, 1998.
- /11/ ACGIH 1998 *TLVs and BEIs; Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents*; ACGIH, 1999.
- /12/ (Arbeidstilsynet *Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære 1996. Veiledning til arbeidsmiljøloven*.; Arbeidstilsynet: Oslo, 1996.

- /13/ Scobbie, E., Dabill, D.W. and Groves, J.A. The Development of an Improved Method for the Determination of Coal Tar Pitch Volatiles (CTPV) in Air. *Ann. occup. Hyg.*, 42, 45-59, 1997.
- /14/ Dunzik, D. E., Gilman, R.D., Haigney, B.C., Vincent, W.J. and Galzavara, T.S. Evaluation and Enhancement of the Performance of Benzene Solubles Methods for Asphalt Fume Assessment. *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 13, 166-171, 1998.
- /15/ Kinnes, G. M., Miller, A.K., Burr, G.A. "HETA 96-0130-2619, The Sim J. Harris Company, San Diego, California," NIOSH, 1996.
- /16/ Miller, A.K., Burr, G.A. " HETA 96-0072-2603 Staker Construction Company, Csa Grande, Arizona ", NIOSH, 1996.

7 LIITTEET

- Liite 1 Naantalin voimalaitoksen lentotuhkan käsittelykaavio
- Liite 2 Kaivokselan kenttäkokeen 1999 työnaikaiset seurantatulokset ja työvuoroilmoitukset
- Liite 3 Kaivokselan kenttäkokeen SMA:n kiviaineskäyrä (VTT:suhteitus)
- Liite 4 Pyöräurituskokeen laboratoriotulokset (VTT)
- Liite 5 TTL:n kirjaamat mittaukset Vt3:lla Kaivokselassa 1999
- Liite 6 Työterveyslaitoksen kirjaamat mittausolosuhteet VT6:lla 25.8.1999 ja VT4:lla 1.9.1999.
- Liite 7 Näytteen keräyskohteet, mitatut aineet ja näytteen keräysmenetelmät, Työterveyslaitos, 7.-8.6.1999.
- Liite 8 Näytteen keräyskohteet, mitatut aineet ja näytteen keräysmenetelmät, Työterveyslaitos, 25.8.1999 ja 1.9.1999.
- Liite 9 Työolosuhdekyselykaavake sekä tienpäällystäjien vastaukset. Työterveyslaitos.
- Liite 10 Ilman epäpuhtauksien ja käsien PAH-pitoisuudet levitettäessä lentotuhka-SMA:ta. Työterveyslaitos tulokset.
- Liite 11 Ilman epäpuhtauksien ja käsien PAH-pitoisuudet levitettäessä kalkki-SMA:ta. Työterveyslaitos tulokset.
- Liite 12 Ihon PAH-pitoisuudet levitettäessä lentotuhka-SMA:ta ja kalkki-SMA:ta. Työterveyslaitos tulokset

Kiivihien tuontitilasto 1999 Tullin tuontipalvelun keräämien tietojen perusteella

EN	alkuperämaa	p.yks	joulukuu		1999 tammi-joulukuu		Muutos %
			paljous	Arvo	paljous	Arvo	
				1000 mk		1 000 mk	
2702	Kivihiili, briketit ja niiden kaltaiset kivihiilestä valmistetut kiinteät polttoaineet						
	EU	t	105	101	33545	7219	+187
	Muu Eur	t	341914	68449	3115074	659729	-18
	DE Saksa	t	10	27	83379	4662	+204
	EE Viro	t			3621	657	-88
	GB Iso-Britannia	t			8800	1535	>999
	IT Italia	t	0	1	2	7	+401
	PL Puola	t	199926	44546	1639121	400811	-37
	RU Venäjä	t	141988	23903	1471760	256960	+64
	SE Ruotsi	t	85	74	1364	1014	+16
	UA Ukraina	t			572	300	+39
	ZA Etelä-Afr.tas.	t			130720	25049	+63
	US USA	t			311718	88718	-31
		t	342020*	58550*	3591057*	779715	-29*

Päällystystöiden työvuoroilmoituksen tiedot, Kaivoksela 1999.

Kohdetiedot	8.6.1999	4.6.1999
Massa	SMA18	SMA18
Vt3 H:ki-Kaivoksela(Haaga)	X	X
Leveys	4,75 x 257, 3,50 x 695, 1,50 x 105	4,75 x 2571
Määrä	8037 m ² +2432,5+157,5 =10627 m ²	12252,3, lisätyöt liimaus: 12252 m ²
Menekki kg/m ²	92,93	94,12
Menekki tn	987,55	
Huoltoauton rek.no.	BMS-213, 10 h	BMS-213, 9h
Vögele 2000, käyttötunnit	8 h	8h
Hamm HD 90	9h	3h
Hamm HW 90	8h	9h
Savalco	8h	8h
TIK-361	11H	11H
Hamm DV 6,22		5H
Levityskone/työntekijä	Rautavuori	Rautavuori
Perämies	Tuormaa Timo	Tuormaa Timo
Huoltoauto	Kunnari (jyrät)	Laaksonen
Jyrä	Vahanen Jalo	Vanhanen
Kola	Laaksonen	
Liima+jyrä	Kostiainen	Kostiainen
Pisto	Sihvonen	Sihvonen
Liik.ohjaus	Nietula, P	Nietula, P

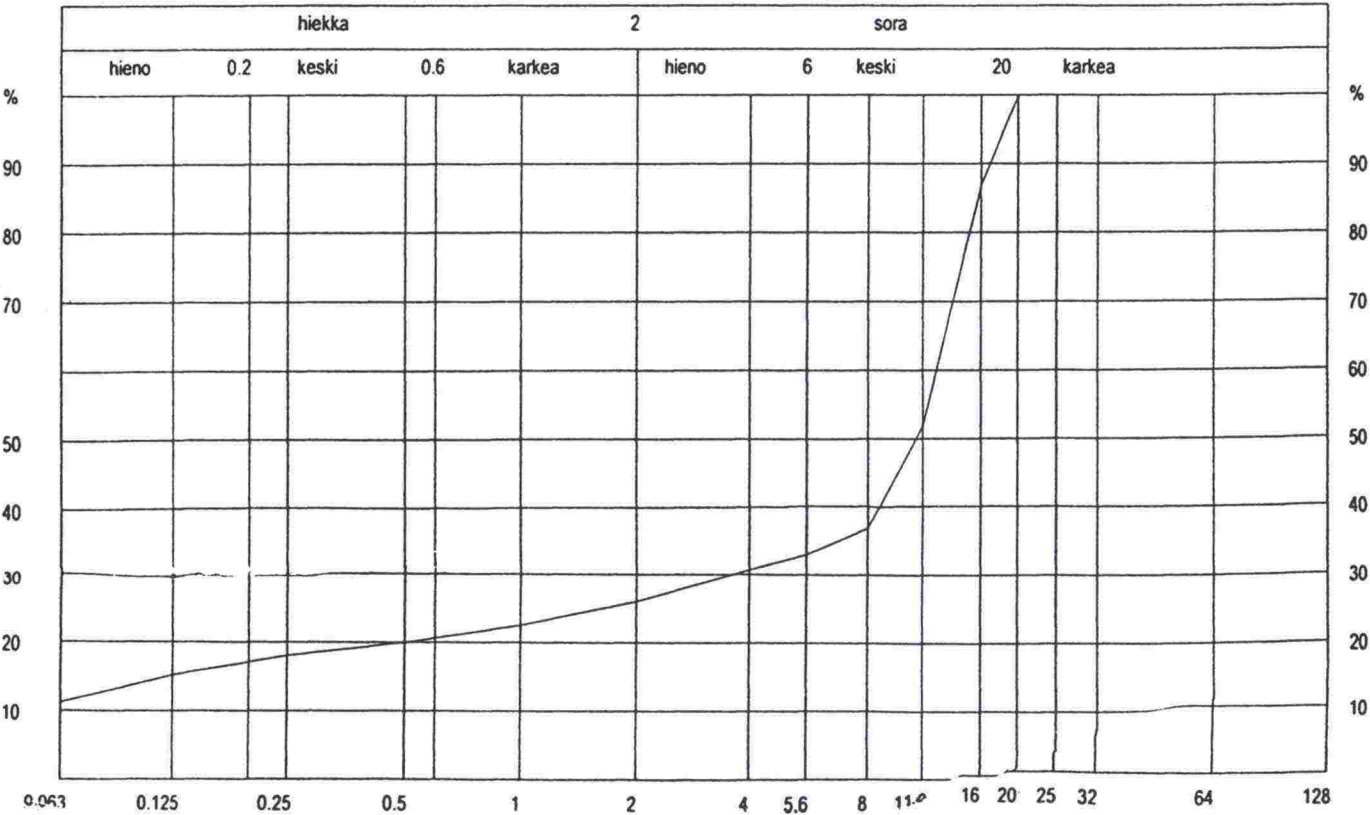
LIITE 2 (2/6)

Ilmala

Näytelomake

Näyte: 1

Tyyppi: SMA18		Luokka: A		Päiväys: 09.06.99												
Piiri 1		Urakka U4/102		Koneasema Maantiekylä/ARA												
Urakoitsija Et.Suomen tuot.alue				Ottaja	Työ n:o											
Tie Vt	N:o 3	Tieosa Kaivoksela			Paalu											
Aosa	Aet	Losa	Let	Kaista	Sarja											
Huomautuksia B-80 5.7%KF10%Gr0.4%K:kKaM0/2+5/8+8/12+12/18 8.6Klo22.50+175C																
	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	20	25	31.5	40	50
Ohjearvo	11.0			16.0		23.0			33.0							
Näyte	11.3	15.3	18.2	20.0	22.6	26.1	30.8	33.0	37.0	52.0	87.0	100.0				
Side-%: 5.68	Ohje-%: 5.70	Täyte-%:	Ohje-%:	Vesi-%:	Seulamalli:	Lisäaine:	Sideaine:	Tarttuvuus:	MYR:							



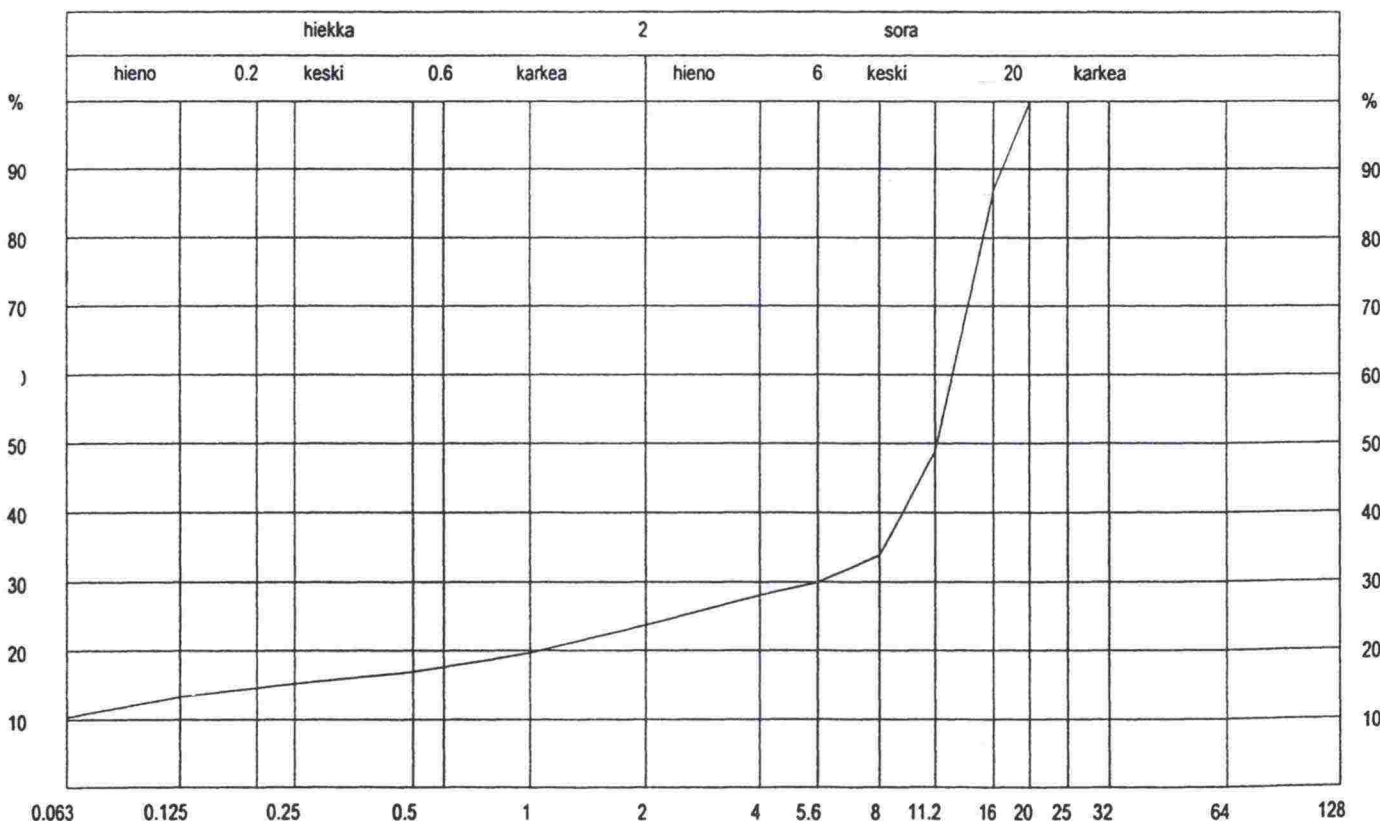
J. H

Tielaitos

Näytelomake

Näyte: 2

Tyyppi: SMA18		Luokka: A		Päiväys: 09.06.99												
Piiri 1		Urakka U4/102		Koneasema Maantiekylä/ARA												
Urakoitsija Et.Suomen tuot.alue				Ottaja	Työ n:o											
Tie Vt	N:o 3	Tieosa Kaivoksela			Paalu											
Aosa	Aet	Losa	Let	Kaista	Sarja											
Huomautuksia B-80 5.7%KF10%Gr0.4%K:kKaM07*+5/8+8/12+12/18Klo02.00+181C																
	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	20	25	31.5	40	50
Ohjearvo	11.0		16.0		23.0		33.0									
Näyte	10.4	13.4	15.4	17.1	19.7	23.8	28.2	30.0	34.0	49.0	87.0	100.0				
Side-%: 5.48	Ohje-%: 5.70	Täyte-%:	Ohje-%:	Vesi-%:	Seulamalli:	Lisäaine:	Sideaine:	Tarttuvuus:	MYR:							



J. H.

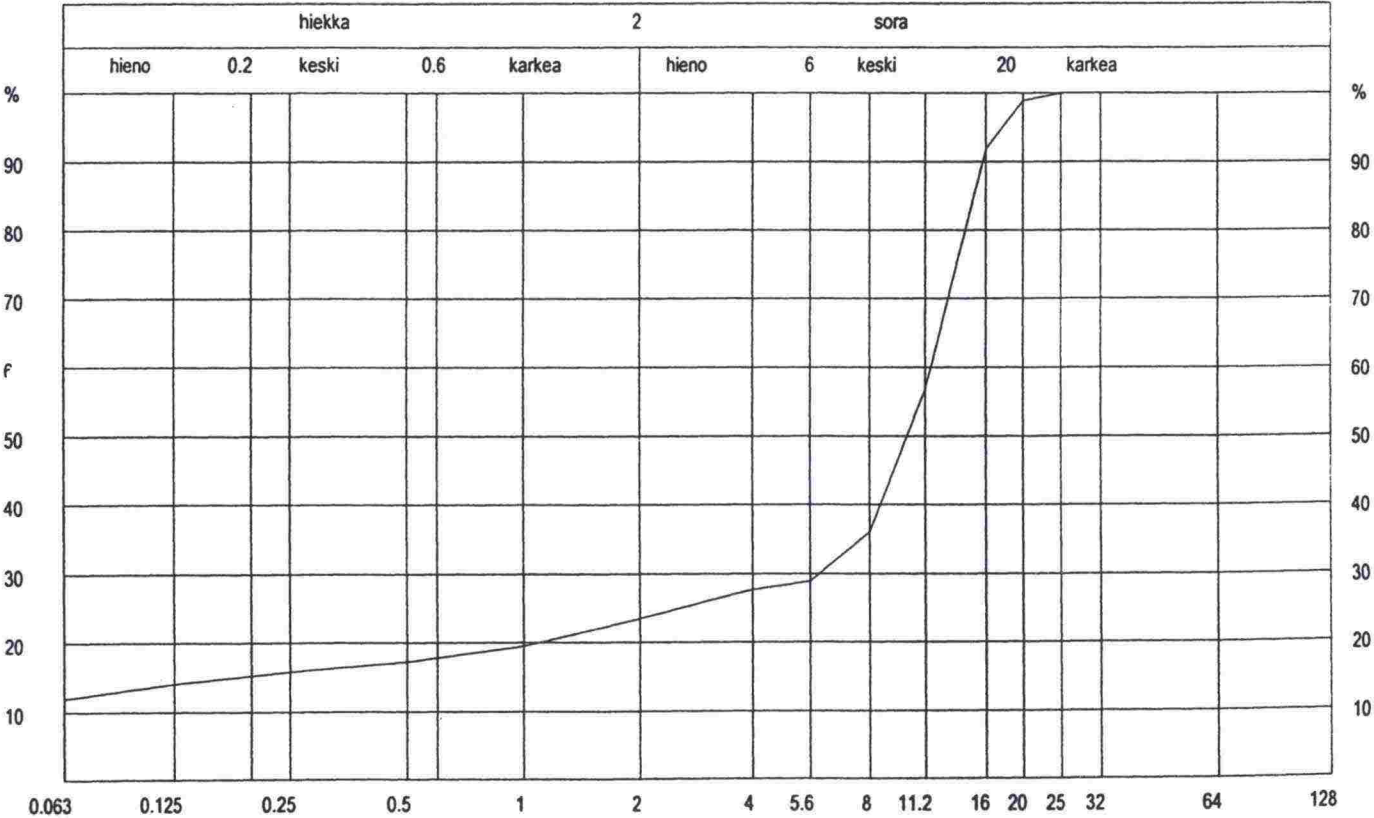
LIITE 2 (4/6)

Tielaitos

Näytelomake

Näyte: 29

Tyyppi: SMA18		Luokka: A		Päiväys: 08.06.99																													
Piiri 1		Urakka U4/102		Koneasema Maantiekylä/ARA																													
Urakoitsija Et.Suomen tuot.alue				Ottaja		Työ n:o																											
Tie Vt		N:o 3		Tieosa Kaivoksela		Paalu																											
Aosa		Aet		Losa		Let		Kaista		Sarja																							
Huomautuksia B-80 6%LT10%Gr0.4%K:kKam0/2+5/8+8/12+12/18 7.6. Kilo 22.30+171C																																	
		0.063		0.125		0.25		0.5		1		2		4		5.6		8		11.2		16		20		25		31.5		40		50	
Ohjearvo		11.0				16.0				23.0				33.0																			
Näyte		12.0		14.1		15.8		17.2		19.6		23.6		27.8		29.0		36.0		57.0		92.0		99.0		100.0							
Side-%: 6.24		Ohje-%: 6.00		Täyte-%:		Ohje-%:		Vesi-%:		Seulamalli: Verkko		Lisäaine:		Sideaine:		Tarttuvuus: 0.00		MYR: 0.0															



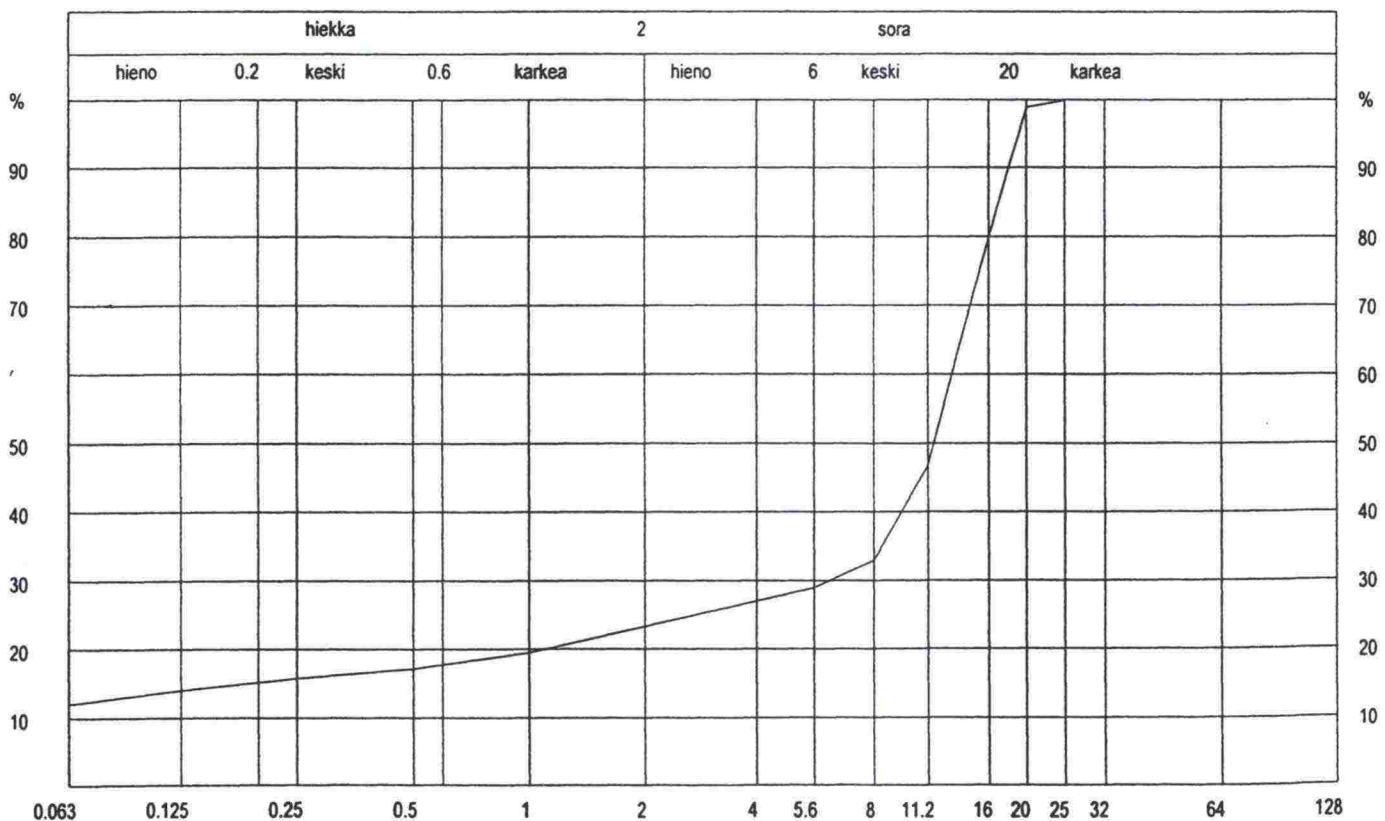
J. Huttin

Tielaitos

Näytelomake

Näyte: 30

Tyyppi: SMA18		Luokka: A		Päiväys: 08.06.99												
Piiri 1		Urakka U4/102		Koneasema Maantiekylä/ARA												
Urakoitsija Et.Suomen tuot.alue				Ottaja	Työ n:o											
Tie Vt	N:o 3	Tieosa Kaivoksela			Paalu											
Aosa	Aet	Losa	Let	Kaista	Sarja											
Huomautuksia B-80 6%LT10%Gr0.4%K:kKam0/2+5/8+8/12+12/18Klo01.00+178C																
	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	20	25	31.5	40	50
Ohjearvo	11.0		16.0		23.0			33.0								
Näyte	12.2	14.2	15.8	17.2	19.6	23.4	27.1	29.0	33.0	47.0	80.0	99.0	100.0			
Side-%: 5.80	Ohje-%: 6.00	Täyte-%:	Ohje-%:	Vesi-%:	Seulamalli: Verkko	Lisäaine:	Sideaine:	Tarttuvuus: 0.00	MYR: 0.0							



J. Hytti

LIITE 2 (6/6)

Tielaitos

LIITE 2/5

Näytelomake

Näyte: 31

Tyyppi: SMA18		Luokka: A		Päiväys: 08.06.99												
Piiri 1		Urakka U4/102		Koneasema Maantiekylä/ARA												
Urakoitsija Et.Suomen tuot.alue				Ottaja	Työ n:o											
Tie Vt	N:o 3	Tieosa Kaivoksela			Paalu											
Aosa	Aet	Losa	Let	Kaista	Sarja											
Huomautuksia B-80 6%LT10%Gr0.4%K:kKam0/2+5/8+8/12+12/18Klo03.05+180C																
	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	20	25	31.5	40	50
Ohjearvo	11.0		16.0		23.0		33.0									
Näyte	10.7	13.0	14.8	16.3	18.6	22.6	26.6	29.0	33.0	51.0	84.0	100.0				
Side-%: 5.77	Ohje-%: 6.00	Täyte-%:	Ohje-%:	Vesi-%:	Seulamalli: Verkko	Lisäaine:	Sideaine:	Tarttuvuus: 0.00	MYR: 0.0							



J. H.

Tilaaaja: TYÖTERVEYSLAITOS

Kohde: VT 1 /U-piirin koe

Massa: SMA 18

Sideaine: B-80

Täytejauhe: LT / KF

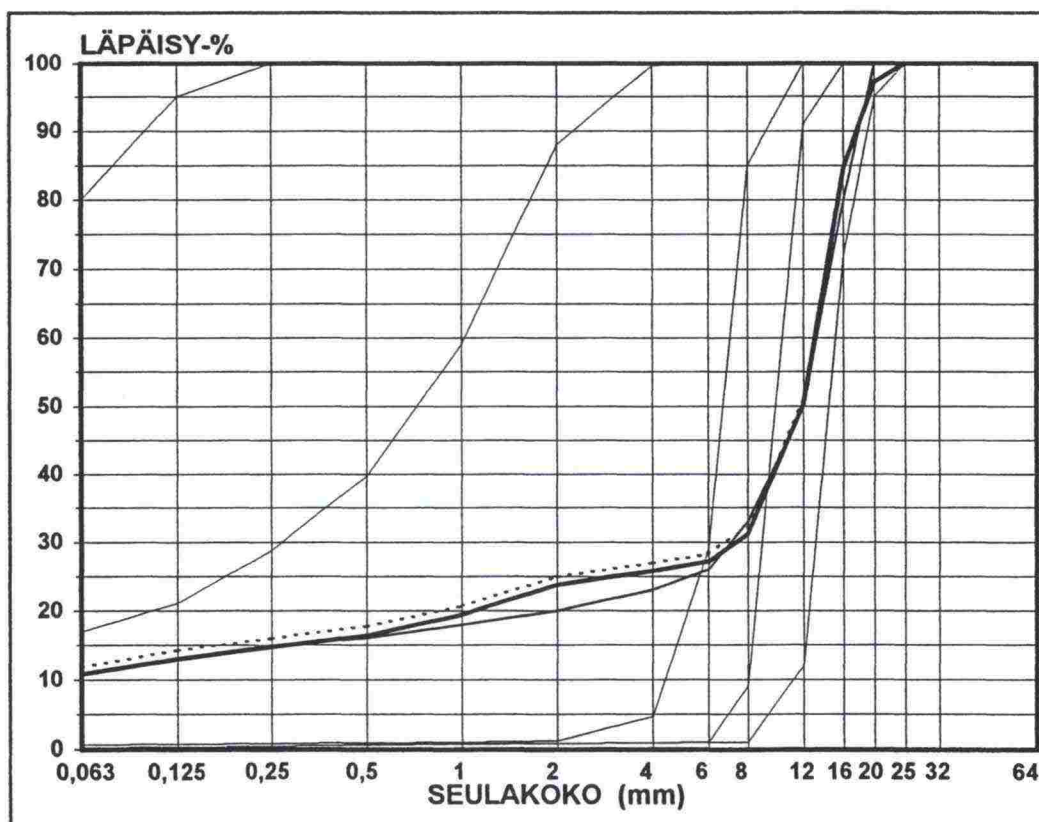
Lisäaineet: TOPCELL-granulaatti

0,4 %

Kiviaines: Koskenkylä

Muuta:

Massan tiheys:



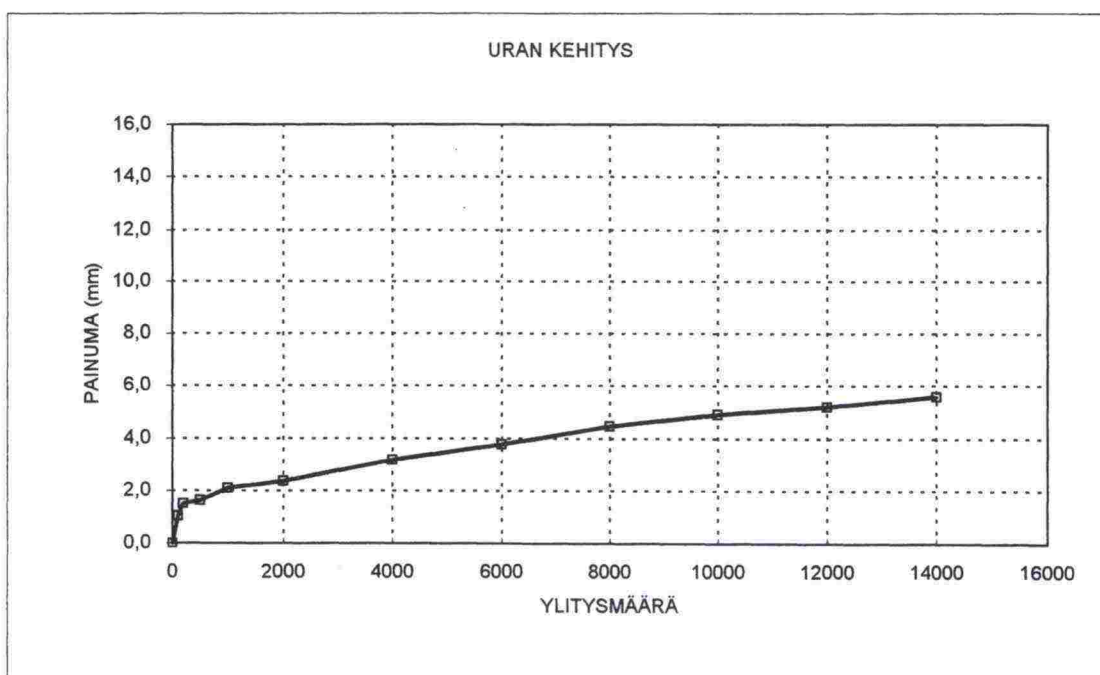
		Tiheydet: 2677		2340	2720	2720	2720	2720	2720
		Seososuudet: 100,0 %		10,0 %	15,0 %	5,0 %	15,0 %		55,0 %
Seula	Alaraja	SMA18	Seos	LT	0-2	5-8	8-12		12-18
0,063		11	10,8	80	17	0,6	0,3		0,3
0,125		13	13,0	95	21,1	0,7	0,4		0,4
0,25		15	14,7	100	28,8	0,8	0,5		0,5
0,5		16	16,4	100	39,7	0,9	0,6		0,6
1		18	19,4	100	59,1	1	0,8		0,7
2		20	23,8	100	87,9	1,2	0,8		0,8
4		23	25,8	100	99,6	4,6	0,9		0,9
6		26	27,2	100	100	29	1		1
8		33	31,2	100	100	85	9		1
12		50	50,3	100	100	100	91		12
16		80	84,6	100	100	100	100		72
20		100	97,3	100	100	100	100		95
25			100,0	100	100	100	100		100
32			100,0	100	100	100	100		100

JRITTAMISKOE

VTT/Yhdyskuntatekniikka

TILAAJA:	Työterveyslaitos	TESTIPÄIVÄ:	2.7.1999
MASSA:	SMA 18	LÄMPÖTILA:	30°C
KIVIAINES:	Koskenkylä	KUORMITUS:	1000 kg
SIDEAINE:	B-80 5,7 %	YLITYSMÄÄRÄ:	14000
TÄYTEJAUHE:	Kalkkifilleri		
LISÄAINE:	Kuitu		

	PAINUMA (mm)	DEFORMAATIO (%)
YLITYKSET		
0	0,0	0,0
100	1,0	1,7
200	1,5	2,5
500	1,6	2,7
1000	2,1	3,5
2000	2,4	3,9
4000	3,2	5,3
6000	3,8	6,3
8000	4,5	7,4
10000	4,9	8,2
12000	5,2	8,7
14000	5,6	9,3



Alkutivistyminen =

2,0

Deformaatio =

3,6

URITTAMISKOE

VTT/Yhdyskuntatekniikka

TILAAJA: Työterveyslaitos

TESTIPÄIVÄ: 1.7.1999

MASSA: SMA 18

LÄMPÖTILA: 30°C

KIVIAINES: Koskenkylä

KUORMITUS: 1000 kg

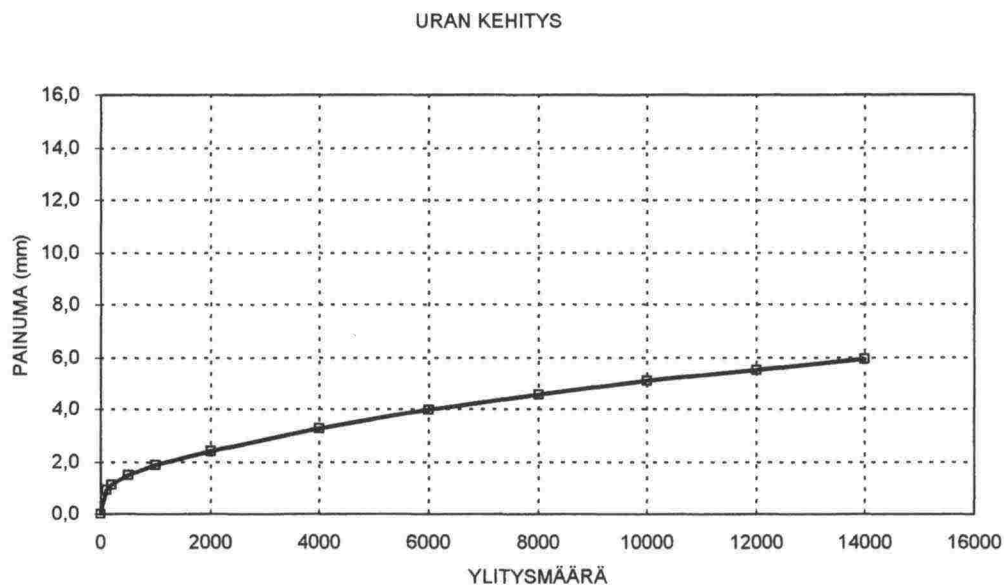
SIDEAINE: B-80 6,0 %

YLITYSMÄÄRÄ: 14000

TÄYTEJAUHE: Lentotuhka

LISÄAINE: Kuitu

	PAINUMA (mm)	DEFORMAATIO (%)
YLITYKSET		
0	0,0	0,0
100	0,9	1,6
200	1,1	1,9
500	1,5	2,5
1000	1,9	3,2
2000	2,4	4,0
4000	3,3	5,4
6000	4,0	6,6
8000	4,6	7,6
10000	5,1	8,5
12000	5,5	9,2
14000	5,9	9,9



Alkutiivistäminen = 2,0

Deformaatio = 3,9

Liite5 : MITTAUSOLOSUHTEET KESÄKUUN 1999 KENTTÄKOKEISSA/Työterveyslaitos

	Päällystystyömaa VT 3 Kaivoksela	Päällystystyömaa VT 3 Kaivoksela
	Urakoitsija: Tielaitos Mittauspäivä: 7.6.1999	Urakoitsija: Tielaitos Mittauspäivä: 8.6.1999
massa	lentotuhka-SMA18	kalkkifilleri-SMA18
sideaine, laatu ja määrä	B- 80 (bitumia 6,0 p-%), Neste	B- 80 (bitumia 6,0 p-%), Neste
täyteaine		
lisäaineet		
levityslämpötila	180 °C	180 °C
työntekijöiden lkm ja ammattinimikkeet	9 kpl levityskoneen kuljettaja 1 kpl kolamies 1 kpl jyränajaja 2 kpl liikenteen järjestelijä 1 kpl perämies 1 kpl työnjohtaja 1 kpl liimakoneenkuljettaja 1 kpl lapiomies 1 kpl	8 kpl levityskoneen kuljettaja 1 kpl kolamies 1 kpl jyränajaja 1 kpl liikenteen järjestelijä 1 kpl perämies 1 kpl työnjohtaja 1 kpl liimakoneenkuljettaja 1 kpl lapiomies 1 kpl
aika	n.21.00 – 5.00	n.21.00 – 5.00
lastausten lkm mittausten aikana	Kaistan leveys 4,75 m, etenemä vuoron aikana m, levityskerros 90 kg/m ²	Kaistan leveys 4,75 m, etenemä vuoron aikana 2571 m, levityskerros 90 kg/m ²
koneiden tyyppi	Levitin Vögele 2000 vm. 1987, jyrä Hamm HD90 ja Hamm HW 90, liimakone Savalco HM 10 HD	Levitin Vögele 2000 vm. 1987, jyrä Hamm HD90 ja Hamm HW 90, liimakone Savalco HM 10 HD
lisätietoja työkohteesta	VT3 Kaivoksela – Kannelmäki	VT3 Kannelmäki - Haaga
ympäristön kuvaus	Pitkä suora moottoritie, melko avoin maasto; liikenne vieressä	Pitkä suora moottoritie, melko avoin maasto; vilkas liikenne vieressä, melko vilkas liikenne vielä 02.15
sääolot - lämpötila - suhteellinen kosteus - tuulen voimakkuus - tuulen suunta	Lämpötila 16,9 °C, kosteus > 92 % (klo 21.10) ja 15,2 °C , 94,4 % (klo 23.00); 15,3 °C, 91,5 % (klo 3.35) Pilvinen ja sateinen sää	Lämpötila 20,6 °C, kosteus 53,3 % (klo 20.35); 12,1 °C , 90,5 % (klo 24.00); 11,5 °C, 89,4 % (klo 3.15) Selkeä sää, heikko tuuli (tyyni)
muut huomiot	Työvälineiden puhdistus kasviöljyllä	Työvälineiden puhdistus kasviöljyllä

Liite6 : MITTAUSOLOSUHTEET SYKSYN 1999 KENTTÄKOKEISSA/Työterveyslaitos

	Päällystystyömaa VT 4	Päällystystyömaa VT 6 Utti – Luumäki
	Urakoitsija: Asfaltti-Tekra Mittauspäivä: 1.9.1999	Urakoitsija: Valtatie Oy Mittauspäivä: 25.8.1999
massa	Lentotuhka-SMA	Kalkki-SMA
sideaine, laatu ja määrä	B- 50 / 70 (bitumia 5,2 p-%)	B- 70 / 100 (bitumia 6,0 p-%)
täyteaine	lentotuhka 9 % , Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy, (Salmisaari 2 ja Inkoon voimalaitos)	kalkkifilleri 7 % , Sipoo Nordkalk
lisäaineet	Selluloosa 0,45 % , Ekovilla Eki 126 granulaatti	Selluloosa 0,8 % , Eti 12 kuituvahviste granulaatti, Ylisvilla Ylistaro
levityslämpötila	160 °C	165 °C (175 +-15 °C)
työntekijöiden lkm ja ammattinimikkeet	6 kpl - levityskoneen kuljettaja 1 - kolamies 1 - 2 kpl - jyränajaja 2 kpl - liikenteenohjaaja 0 kpl - perämies 1 - työnjohtaja 0 (työnjohtaja toimi perämiehenä) - liimakoneenkuljettaja 0 kpl	12 kpl levityskoneen kuljettaja 1 kolamies 1 kpl jyränajaja 3 kpl liikenteenohjaaja 2 kpl perämies 1 työnjohtaja 1 liimakoneenkuljettaja 1 kpl apumies 2 kpl
aika	13.15 – 17.15	7.00 – 17.15
lastausten lkm mittausten aikana	Noin 20 kpl, määrä 444 tonnia	1400 tonnia, matka 2334 m (4756 – 7090 m), leveys 6,0 m
koneiden tyyppi	Levitin Svedala Dynapac, jyrä VSH 61 STA (koppi)	Levitin Demac DF 135 C, jyrä Hamm HD9 (koppi) 1 kpl, Aveling Bartford DC12 (kopiton) 2 kpl
lisätietoja työkohteesta	Lahti Renkomäki, ylikulkusillan ja sillan ramppien levitys	VT6 Kaipiainen – Pajari, pitkä suora, avoin paikka, hiekkakangasta
ympäristön kuvaus	Avoin, tuulinen kohta	Avoin, tuulinen kohta
sääolot	Lämpötila 21 °C, kosteus 40 % (klo 13.00)	Lämpötila 20 °C, (klo 11.00) ja 21 °C (klo 13.30)
- lämpötila		
- suhteellinen kosteus	Aurinkoinen, puolipilvinen, kohtalainen tuuli etelästä	Aurinkoinen, pouta sää, kohtalainen/navakka tuuli lounaasta (lännestä)
- tuulen voimakkuus		
- tuulen suunta	Tuulee takaa alku ajan noin 1-2 tuntia, sillan päällä takaviistosta vasemmalta ja lopuksi noin 45 minuuttia edestä.	Tuulee tien suuntaisesti levittimen takaa.
muut huomiot		

NÄYTTEEN KERÄYSKOHTEET, MITATUT AINEET JA NÄYTTEEN KERÄYSMENETELMÄT.

Liite7 : Tielaitoksen asfalttiasema, Maantiekylä 7.6. – 8.6.1999

Kohde	Kokonaispöly	Kok.pöly/ bitumihiuru	PAH:t	Bitumihöyryt
Sekoitintaso	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min	Tenax TA 0,1 l/min, 1h
Apumies		Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min		Tenax TA 0,1 l/min, 1h
Tausta			Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min	
Autonkuljettaja	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min			

VT 3 Kaivoksela; lentotuhka-SMA /kalkki-SMA, 7.6. – 8.6.1999

Kohde	Kok.pöly ja bitumihiuru	PAH:t	Bitumihöyryt	lho
LEVITIN JA LEVITTIMEN KULJETTAJA	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min, 6-8 h, kaide	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv	Tenax TA 0,1 l/min, 1h	Auringonkukkaöljypyhyntä ennen ja jälkeen työvuoron
Perämies	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min, 6-8 h, hv	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv	Tenax TA 0,1 l/min, 1h	Auringonkukkaöljypyhyntä ennen ja jälkeen työvuoron
Lapiomies	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min, 6-8 h, hv	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv	Tenax TA 0,1 l/min, 1h	Auringonkukkaöljypyhyntä ennen ja jälkeen työvuoron
Liimakoneen-kuljettaja		Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv		Auringonkukkaöljypyhyntä ennen ja jälkeen työvuoron
Liikenteenjärjestäjä		Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv		Auringonkukkaöljypyhyntä ennen ja jälkeen työvuoron

hv= hengitysvyöhyke

NÄYTTEENKERÄYSKOHTEET, MITATUT AINEET JA NÄYTTEENKERÄYSMENETELMÄT

Liite8 : VT6 Utti-Luumäki kalkki-SMA 25.8.1999

Kohde	Kok.pöly ja bitumihuuru	PAH:t	Bitumihöyryt	lho
Levitin ja levittimen kuljettaja	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min, 6-8h, kaide	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv	1) XAD-2 (SKC 226-30-06), 1 l/min, 6-8h,kaide 2) Tenax TA 0,1 l/min, 1h	Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron
Perämies	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min, 6-8h, hv	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv	1) XAD-2 (SKC 226-30-06), 1 l/min, 6-8h, hv 2) Tenax TA 0,1 l/min, 1h	Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron
Kolamies tai lapio- mies	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min, 6-8h, hv	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv	1) XAD-2 (SKC 226-30-06), 1 l/min, 6-8h, hv 2) Tenax TA 0,1 l/min, 1h	Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron
Liimakoneen-kuljet- taja	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min, 6-8h, hv	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv	1) XAD-2 (SKC 226-30-06), 1 l/min, 6-8h, hv 2) Tenax TA 0,1 l/min, 1h	Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron
Liikenteen- ohjaaja		Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv		Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron

hv=hengitysvyöhyke

VT4 Lahti Renkomäki, lentotuhka-SMA, 1.9.1999

Kohde	Kok.pöly + bitumihuuru+ bitumihöyryt	PAH:t	Bitumihöyryt	lho
Levitin ja levittimen kuljettaja	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min, 4h, kaide	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv	1) XAD-2 (SKC 226-30-06), 1 l/min, 4h, kaide 2) Tenax TA 0,1 l/min, 1h	Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron
Perämies	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min, 4h, hv	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv	1) XAD-2 (SKC 226-30-06), 1 l/min, 4h, hv 2) Tenax TA 0,1 l/min, 1h	Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron
Kolamies tai lapio- mies	Teflon (SKC225-17-05), 2 l/min, 4h, hv	Teflon (SKC225-17-07)+ XAD-2 (SKC 226-30-05), 1 l/min, 3-8 h, hv	1) XAD-2 (SKC 226-30-06), 1 l/min, 4h, hv 2) Tenax TA 0,1 l/min, 1h	Auringonkukkaöljypyyhintä ennen ja jälkeen työvuoron

hv=hengitysvyöhyk

Uudenmaan aluetyöterveyslaitos/PH

KYSELY KIVIIHILEN LENTOTUHKKA-ASFALTIN VAIKUTUKSIS- TA TIENPÄÄLLYSTYKSESSÄ JA ASFALTTIASEMALLA

Vastaaajan ammatti.....

Pvm.....

	KIVIIHILEN LENTOTUHKKA-SMA		KALKKI-SMA	
	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei
Tahraa ihoa	7/10	0/10	6/11	2/11
Tahraa vaatteita	7/10		9/11	
Hajut				
Tavanomainen	3/10		2/11	
Epämiellyttävä	7/10		10/11	
Muu (kuvaile)				
Oireet				
Ärsyttää hengitysteitä	4/10	4/10	6/11	5/11
Ärsyttää silmiä	6/10	4/10	7/11	4/11
Ärsyttää ihoa	2/10	5/10	2/11	7/11
Muut oireet				
Päänsärkyä	1/10	8/10	2/11	9/11
Väsymystä	1/10	6/10	1/11	8/11
Muut havainnot				

Ilman epäpuhtaudet ja PAH- pitoisuudet työntekijöiden käsissä levitettäessä lentotuhkaa sisältävää asfalttia.

Kohde	Ammatti/ paikka	Kokonaispöly	Bitumihuuru	TVOC	PAH	PAH
		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	µg/m ³	µg/kädet
VT 3	levitin, vasen	8,5	5,6	20,0		
	levitin, oikea	3,8			13,9	
	levittimen kuljettaja					10,0
	perämies	1,3	0,8		6,1	4,8
	lapiomies	0,8	0,5		6,3	3,3
	jyrän ohjaamo	0,3	0,1			
	liimakoneen kuljettaja					5,7
VT 4	levitin, vasen	0,7	0,3	0,9		
	levitin, oikea	0,8	0,4	0,6		
	levittimen kuljettaja				1,0	0,0
	perämies	0,6	0,4	1,6	5,5	5,5
	kolamies	0,4	0,1	1,2	1,2	1,1
	arit. keskiarvo	1,9	1,0	4,9	5,7	4,3
	hajonta	2,7	1,9	8,5	4,7	3,3
	mediaani	0,8	0,4	1,2	5,8	4,8
	geom. keskiarvo	1,0	0,4	1,8	3,9	
VT3	liikenteenjärjestäjä				0,3	0,3

TVOC= haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli bitumihöyry

PAH= polysykliset aromaattiset hiilivedyt

Ilman epäpuhtaudet ja PAH- pitoisuudet työntekijöiden käsissä levitettäessä kalkki-SMA:ta

Kohde	Ammatti/ paikka	Kok.pöly	Bit.huuru	TVOC	PAH	PAH
		mg/m3	mg/m3	mg/m3	µg/m3	µg/kädet
VT 3	levitin, vasen	9,7	6,9	21,0		
	levitin, oikea				45,3	
	levittimen kuljettaja					16,5
	perämies	2,0	1,3		8,6	6,6
	lapiomies	0,8	0,5		5,3	10,8
	jyrän ohjaamo	0,5	0,1			
	liimakoneen kuljettaja					0,0
VT 4	levitin, vasen	0,4	0,2	2,8		
	levitin, oikea	0,3	0,2	2,7		
	levittimen kuljettaja				6,4	4,4
	perämies	0,2	0,1	1,1	2,4	6,2
	kolamies	0,1	0,04	0,6	1,4	4,4
	liimakoneen kuljettaja					0,0
	arit. keskiarvo	1,8	1,2	5,6	11,6	7,0
	hajonta	3,3	2,4	8,6	16,7	5,3
	mediaani	0,4	0,2	2,7	5,8	6,2
	geom. keskiarvo	0,6	0,3	2,5	6,0	
VT3	liikenteenjärjestäjä				1,1	0,0
VT4	liikenteenohjaaja				0,1	0,4
	arit. keskiarvo				0,6	0,2
	hajonta				0,7	0,3
	mediaani				0,6	0,2
	geom. keskiarvo				0,3	

TVOC=haihtuvat orgaaniset hiilivedyt eli bitumihöyryt

PAH=polysykliset aromaattiset hiilivedyt

LIITE 12/1-2

PAH-YHDISTEIDEN PITOISUUDET pitoisuus ng/kädet = pitoisuus työvuoron jälkeen - pitoisuus työvuoroa ennen

KÄSISSÄ

LENTOTUHKAA SISÄLTÄVÄN ASFALTIN
LEVITYS

KOH -DE	AMMATTI	naftalee ni ng/kädet	asenaftae ni ng/kädet	fluoreeni ng/kädet	Fenant- reeni ng/kädet	Antra- seeni ng/kädet	Fluoran- teeni ng/kädet	pyreeni ng/kädet	B(a)A ng/kädet	kryseeni ng/kädet	B(b)F ng/kädet	B(k)F ng/kädet	B(a)P ng/kädet	DB(ah)A ng/kädet	B(ghi)Pe ng/kädet	I(123cd)P ng/kädet	KOK.PAH µg/kädet
VT3	levittimen kulj.	2717,8	0,0	1305,8	3064,6	54,4	366,6	1397,0	538,0	182,1	0,0	41,3	78,3	0,0	61,6	0,0	9,8
"	perämies	2043,4	0,0	725,5	1075,2	42,3	96,0	430,6	193,2	61,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7
"	lapiomies	1119,6	0,0	368,0	1031,3	0,0	78,4	354,0	168,8	92,6	0,0	0,0	25,4	0,0	0,0	0,0	3,2
"	liimak.kulj.	806,7	0,0	588,2	2980,7	0,0	107,8	693,0	232,1	113,0	0,0	0,0	51,1	0,0	0,0	0,0	5,6
VT4	levittimen kulj.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	16,3	0,0	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
"	perämies	247,5	0,0	452,6	3508,5	0,0	232,9	712,9	0,0	250,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4
"	kolamies	61,9	0,0	238,0	382,5	0,0	46,3	75,2	154,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	KESKIAR VO	999,6	0,0	525,4	1720,4	13,8	135,7	525,6	183,7	102,2	0,0	5,9	22,1	0,0	8,8	0,0	4,2
	mediaani	806,7	0,0	452,6	1075,2	0,0	96,0	430,6	168,8	92,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7
	hajonta	1043,8	0,0	416,7	1427,9	23,9	122,0	469,6	181,0	89,4	0,0	15,6	31,5	0,0	23,3	0,0	3,3

KALKKIJAUHETTA SISÄLTÄVÄN ASFALTIN
LEVITYS

KOH DE	AMMATTI	naftalee ni ng/kädet	asenaftae ni ng/kädet	fluoreeni ng/kädet	fenantre eni ng/kädet	antras eeni ng/kädet	fluorantee ni ng/kädet	pyreeni ng/kädet	B(a)A ng/kädet	kryseeni ng/kädet	B(b)F ng/kädet	B(k)F ng/kädet	B(a)P ng/kädet	DB(ah)A ng/kädet	B(ghi)Pe ng/kädet	I(123cd)P ng/kädet	KOK.PAH µg/kädet
VT3	levittimen kulj.	6386,8	0,0	2358,5	5172,6	137,3	294,1	1139,6	555,2	143,6	0,0	36,6	63,3	0,0	0,0	0,0	16,3
"	perämies	2856,6	0,0	986,4	1621,8	124,1	103,9	452,2	216,7	56,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4
"	lapiomies	3083,6	0,0	1687,4	3614,9	0,0	277,9	1235,4	488,7	184,8	0,0	21,8	51,0	0,0	0,0	0,0	10,6
"	liimak.kulj. *	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VT6	levittimen kulj.	68,3	0,0	478,8	2631,8	135,4	253,9	708,5	0,0	206,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
"	perämies	500,5	0,0	591,8	2958,8	234,2	272,4	713,1	613,2	227,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1
"	kolamies	304,1	0,0	421,9	2074,3	72,7	229,5	539,0	426,1	182,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3
"	liimak.kulj.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	KESKIAR VO	1650,0	0,0	815,6	2259,3	88,0	179,0	598,5	287,5	125,2	0,0	7,3	14,3	0,0	0,0	0,0	6,0

[illegible]

Ympäristö/vaikutukset

- TIEL 3200555 Ohikulkutie ja taajama (TS 9/1999)
- TIEL 3200558 Niittykasvillisuuden perustaminen tieluksiin - Koetuloksia ja kirjallisuusselvitys (TS 12/1999)
- TIEL 3200560 Saneerattujen taajamien viherympäristö, kivetyt pinnat, kalusteet - Kuntotarkastelu (TS 15/1999)
- TIEL 3200590 Taajamateiden suunnittelun kehittäminen. Seurantatutkimus. Jaala, Keuruu, Sotkamo. (TS 1/2000)
- TIEL 4000205 Tierummut vaellusesteinä - Ongelman kuvaus ja ratkaisumalleja (SJ 22/1999)
- TIEL 4000206 Suomen tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset - Vuoden 1996 selvityksen päivitys (SJ 23/1999)
- TIEL 4000215 Tieliikenne-ennuste vuosille 1997-2030. Vuoden 1995 ennusteen päivitys (SJ 35/1999)
- TIEL 4000216 Tieliikenteen ajokustannukset: Onnettomuuskustannukset Suomessa ja Ruotsissa (SJ 36/1999)
- TIEL 4000217 Tieliikenteen ajokustannukset: Ajoneuvokustannukset (SJ 37/1999)
- TIEL 4000216 Tieliikenteen ajokustannukset: Aikakustannukset (SJ 36/1999)
- TIEL 4000241 Mitä on tehty? - Tielaitoksen ympäristön toimenpideohjelman 1997 - 2000 toteuttaminen (SJ 13/2000)
- TIEL 4000250 Miten on käynyt? - Tielaitoksen ympäristöohjelman vaikutukset (SJ 30/2000)

Tietekniikka

- TIEL 3200562 Törmäyskokeet Tielaitoksen tiekaiteeseen 1993-1999 (TS 17/1999)
- TIEL 3200571 Asfalttinormien kiviainesten hienoainesseoksen laatuvaatimukset (TS 26/1999)
- TIEL 3200578 Halvat kevyen liikenteen väylät (TS 35/1999)
- TIEL 3200591 Kasvipeitteisen meluesteen kokeilu (TS 2/2000)
- TIEL 3200594 Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa. Mitoitus- ja työohje (TS 5/2000)
- TIEL 3200599 Tiesuolan käytön arviointi talvikuukausien lämpötilan avulla (TS 9/2000)
- TIEL 3200604 Syvästabiloitujen pilarien ja maan yhteistoiminta (TS 15/2000)
- TIEL 3200611 Lentotuhkafilleri SMA-päällysteessä - Työskentely- ja ympäristövaikutukset (TS 23/2000)
- TIEL 3200625 Varusteluettelot (TS 39/2000)
- TIEL 4000199 Selvitys tien häikäisysojista (SJ 5/1999)
- TIEL 4000200 Kelirikkaisen soratien kantavuuden parantamismenetelmiä. Bitumistabilointi ja raudoitettu murske. Loppuraportti. (SJ 6/1999)
- TIEL 4000201 Teiden talvihoidon yhteiskunnalliset vaikutukset. Yhteenvedo tehdyistä selvityksistä. (SJ 9/1999)
- TIEL 4000202 Tutkimus- ja kehittämistoiminnan vuosiraportti 1998 (SJ 10/1999)
- TIEL 4000209 Kevyen liikenteen kaatumistapaturmien selvittäminen sairauskertomusten perusteella - Jyväskylä (SJ 26/1999)
- TIEL 4000210 Laatuvaatimusten asettaminen, kun urakka sisältää suunnittelun ja rakentamisen (SJ 27/1999)
- TIEL 4000222 Tunnin pilotti. Hoidon toteutuminen, II väliraportti syyskuu 1999 (SJ 41/1999)
- TIEL 4000228 Masuunikuonatuotteiden E-moduulit (SJ 49/1999)
- TIEL 4000229 Analyttisessä mitoituksessa käytettävät asfalttipäällysteen jäykkyudet ja väsymismallit (SJ 50/1999)
- TIEL 4000232 Tunnin pilotti - Vaikutus liikenneturvallisuuteen (SJ 54/1999)
- TIEL 4000236 Kevyen liikenteen väylien kunnossapitotason ja kaatumistapaturmien selvitys. Kesäkauden osaraportti (SJ 5/2000)
- TIEL 4000239 Pyöräiden routavauriotutkimus (SJ 10/2000)

OHJEET JALAAATUVAATIMUKSET

TIEL 2110014	Läjäytysalueen suunnittelu - Läjäytysalueohje
TIEL 2140015	Rakenteen parantamista edeltävät tutkimukset
TIEL 2140016	Puun käyttö melusteissa
TIEL 2150008	Luonnon monimuotoisuus ja tienpito - Tieluonnon hoito-ohjelma
TIEL 2150009	Tiehankkeiden ja tienpidon toimien ympäristövaikutusten selvittäminen
TIEL 2150010	Tiehankkeen vaikutukset ihmisiin ja yhteisöihin
TIEL 2210013	TYLT: Tiekaiteet
TIEL 2210014-2000	TYLT: Yleiset perusteet - Leikkaukset, kaivannot ja avo-ojarakenteet - Penger- ja kerrosrakenteet - Lisäykset ja muutokset vuonna 2000
TIEL 2212456-2000	TYLT: Perustamis- ja vahvistamistyöt
TIEL 2212802-2000	TYLT: Päälystystyöt
TIEL 2212809-98	TYLT: Murskaustyöt
TIEL 2230054	Kevyen liikenteen väylien hoito; Menetelmätieto
TIEL 2230055	Viherhoito tieympäristössä
TIEL 2240002-98	Yleiset arvonmuutosperusteet: Murskaustyöt
TIEL 2243560-2000	Yleiset arvonmuutosperusteet: Päälystystyöt

SELVITYKSIÄ (=TS) JA SISÄISIÄ JULKAISUJA (=SJ):

Liikennetekniikka

TIEL 3200561	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Ohitusnäkemät (TS 16/1999)
TIEL 3200566	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Perusverkon eritasoliittymien turvallisuus (TS 21/1999)
TIEL 3200570E	S 12 Improvement solutions for main roads: New road types - Summary on test roads in Finland (TS 25/1999)
TIEL 3200602	Raskaat ajoneuvot kiertoliittymissä (TS 12/2000)
TIEL 3200602E	Roundabouts and heavy vehicles (TS 13/2000)
TIEL 3200603	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Tietyömaiden liikennehaittojen arviointi (TS 14/2000)
TIEL 3200613	Kiertoliittymien turvallisuus (TS 25/2000)
TIEL 4000191	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uudet tietyypit - Koeteiden turvallisuus (SJ 20/1999)
TIEL 4000193	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uudet tietyypit - Selvitys ulkomaisista kokemuksista (SJ 21/1999)
TIEL 4000212	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Parannettavien pääteiden suuntaus (SJ 30/1999)
TIEL 4000213	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uusien tietyypivaihtoehtojen vertailu - Vt 6 välillä Koskenkylä - Kouvola Osa A: Raportti, Osa B: Liitekartat (SJ 31/1999)
TIEL 4000214	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Kevyen liikenteen ja yksityistieliittymien yhteiset ratkaisut (SJ 33/1999)
TIEL 4000221	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Tutkimussuunnitelma (SJ 42/1999)
TIEL 4000227	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Kapeiden pientareiden vaikutus kaksiajorataisten teiden turvallisuuteen (SJ 48/1999)
TIEL 4000233	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uusien tietyypivaihtoehtojen vertailu - Vt 5 välillä Joroinen - Varkaus (SJ 55/1999)
TIEL 4000234	S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uusien tietyypivaihtoehtojen vertailu - Vt 4 välillä Haurukylä - Haaransilta - Kempele (SJ 56/1999)
TIEL 4000242	Liikenneteknisen mitoituksen perusarvot (SJ 14/2000)
TIEL 4000243	Taajamakeskustateiden poikkileikkaukset Testiajo- ja kirjallisuusselvitys (SJ 18/2000)
TIEL 4000245	Joukkoliikenne - Opas tiepiirin joukkoliikenneselvityksen laatimiseksi (SJ 23/2000)
TIEL 4000247	S 12 Improvement solutions for main roads: Nordic Highway Capacity - Uninterrupted Flow Facilities in Denmark, Finland, Norway and Sweden (Finnra Internal Publications 4/2000)